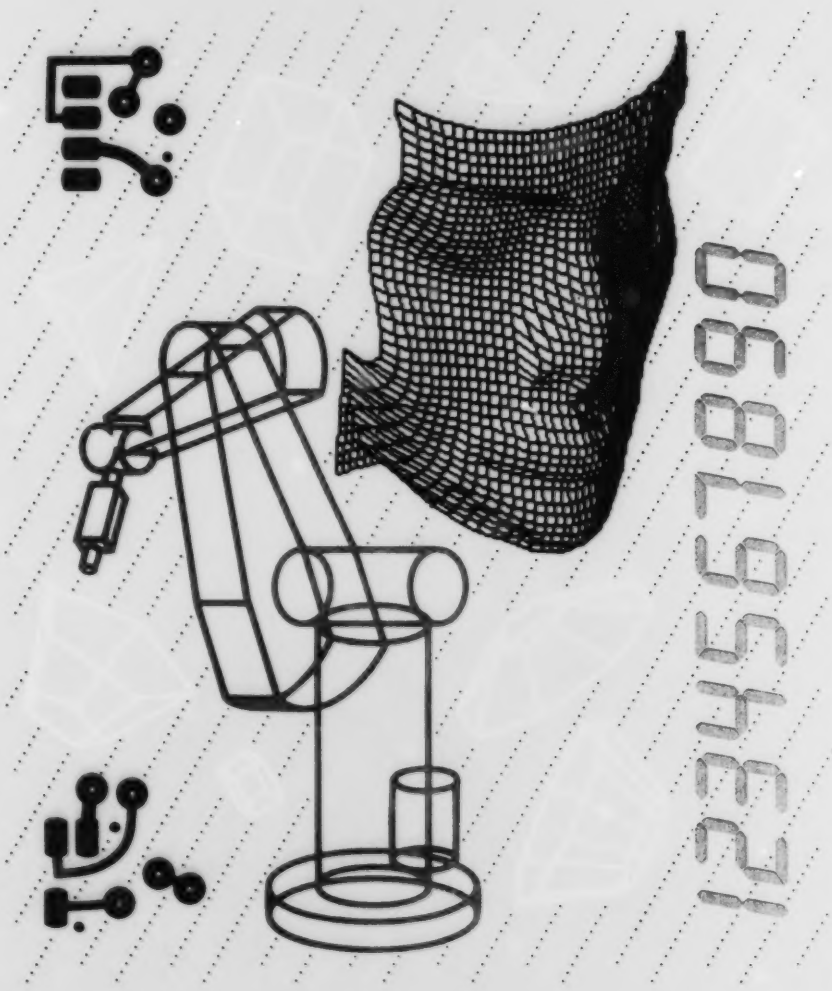
National Research Council Canada
Conseil national de recherches Canada

Division of Electrical Engineering
Division de génie électrique

ISSN 0706-568X

Bulletin of the Division of Electrical Engineering

1987–1988



Canada

NRCC No. 29078

89-03428/

Bulletin of the Division of Electrical Engineering
1987–1988

BULLETIN
of the
Division of Electrical Engineering

NRCC Ottawa May 1988 Volume 3 Number 2

Copyright 1988 by National Research Council of Canada

Permission is granted to quote short excerpts and to reproduce figures and tables from this bulletin, provided that the source of such material is fully acknowledged.

Additional copies are available free of charge from:

Editorial Office, Room 301
Division of Electrical Engineering
National Research Council of Canada
Ottawa, Ontario, Canada
K1A 0R8

CONTENTS

		Page
INTRODUCTION		1
INDUSTRIAL LIAISON OFFICE		3
Organization and Activities	A.M. Hlady – G. Neal – K. Birnbaum	3
CAD/CAM, Robotics, and Industrial Automation	J. Scrimgeour	4
Public Security Program	J.G. Arnold	5
RECENT PAPERS — INDUSTRIAL LIAISON OFFICE		6
LABORATORY FOR BIOMEDICAL ENGINEERING		7
Objective		7
Sub-objectives		7
Program Description		7
Future Directions and Priorities		7
Clients and Collaborators		8
Key Events		8
MEDICAL ENGINEERING SECTION		9
Introduction		9
Habilitation/Rehabilitation Engineering	N.D. Durie – P.J. Nelson – L. Korba – R. Black	9
Cooperative Programs		9
Inventory of Projects in Bioengineering		11
Health Care Robot		11
Microcomputer-based Moveable Light Training Aid		11
Conference on Technology for Developmentally Delayed Persons		11
"CopyKey" Keyboard-emulator Module		12
MOD Keyboard System		12
Orthopedics	R.C. Black – A. Foux – G.W.D. Armstrong – D. Chow – J.P. Murnaghan – H.K. Uhthoff – M. Lovas – S. Gilbert	13
Structural Analysis of Calcified Tissues		13
Shoulder Biomechanics		13
Spinal Biomechanics		13
Commercialization		13
The Effects of Non-ionizing Radiation	A.J. Mortimer – G.V. Forester	14
Safety of Diagnostic Ultrasound		14
Ultrasound Directed Laser Angioplasty		15
Ultrasound Bioeffects		16
Discovery Paradigms for Taxonomic Classification of Disease	D. Crabtree – J.W. Brahan – H.T.J. Mount – M. Niktash – I.S. Pressman	16
Space Life Sciences	A.J. Mortimer – R.C. Black	17
RECENT PAPERS — MEDICAL ENGINEERING SECTION		18
REHABILITATION TECHNOLOGY UNIT		21
Introduction		21
Production Engineering of Aids for the Handicapped	J. Batelaan – W.G. Bennett – I.P. Clark – A.W. Liu	21
The DIRECT		22
RECENT PAPERS — REHABILITATION TECHNOLOGY UNIT		23

LABORATORY FOR ELECTROMAGNETIC AND POWER ENGINEERING ... 25

Objective ... 25
Sub-objectives ... 25
Program Description ... 25
Future Directions and Priorities ... 26
Clients and Collaborators ... 26
Key Events ... 26

POWER ENGINEERING SECTION ... 29

Introduction ... 29
Precision Electrical Measurements ... W.J.M. Moore – E. So – P.S. Filipski – R.J Arseneau – P.N. Miljanic 29
Power and Energy Measurements ... 29
Electronically Aided Current Transformer ... 30
Current-comparator-based Load Loss Standard ... 30
25-Bit Multiplying Digital-to-analog Converter ... 30
Root-mean-square Alternating Current/Direct Current Voltage Comparator ... 30
Calibrations ... 30
Impulse Voltage Measurements ... T.R. McComb 30
International Research on Impulse Measuring Systems ... 30
Use of Digital Recorders in High Voltage Laboratories ... 31
Standards ... 31
Aid to Industry ... 32
Lightning Research ... 32
Electrical Insulation ... R.J. Densley – A. Bulinski – S.S. Bamji 32
Insulation Operating in a Wet Environment ... 32
Insulation Operating in a Dry Environment ... 33
Electromagnetic Interference/Electromagnetic Compatibility ... A.S. Podgorski – S. Kashyap – M. Kekez 34
Electromagnetic Pulse Measurements ... 34
Electromagnetic Pulse Simulation ... 34
RECENT PAPERS — POWER ENGINEERING SECTION ... 35
RECENT PAPERS — ELECTROMAGNETIC ENGINEERING SECTION ... 38

LABORATORY FOR INTELLIGENT SYSTEMS ... 41

Objective ... 41
Sub-objectives ... 41
Program Description ... 41
Future Directions and Priorities ... 42
Clients and Collaborators ... 42
Key Events ... 42

COMPUTING TECHNOLOGY SECTION ... 45

Introduction ... 45
Multiprocessor Architectures for Realtime Control ... W.M. Gentleman – D.A. Green – S.A. MacKay – R.K. Parr – D.A. Stewart – M. Wein 45
The Harmony Operating System ... 45
Sensor-based Robotics ... 49
Robot Control ... S. Elgazzar – D.A. Green – D.H. O'Hara 49
Robot Vision ... G. Bechthold – S. Amid – G. Roth – C. Archibald – C. Merritt – B. Trethewey 50
Robot Task Planning ... K.B. Evans – T. Shepertycki 53
Mobile Robot for Health Care Applications ... D.A. Green – R. Liscano – G. Bechthold 54

Range Image Processing for Object Recognition ... S.H.Y. Hung 55
Three-dimensional Object Recognition Based on Global Descriptors ... 55
Three-dimensional Modeling Package for Generating Simulated Range Images ... 55
RECENT PAPERS —COMPUTING TECHNOLOGY SECTION ... 56

INFORMATION TECHNOLOGY SECTION ... 59
Introduction ... 59
Knowledge-based Systems ... W.H. Henneker – S. Abu-Hakima – J.W. Brahan – L. Buck – P.L. Davidson – B. Farley – R.A. Orchard – A. Parent – F.B. Vernadat 59
Investigation of Commercial Expert System Tools ... 59
Natural Language Interface for an Expert Tutor ... 60
RIMES — An Expert System Shell for Medical Device Risk Management ... 60
User Modeling in Knowledge-based Systems ... 61
Machine Learning ... 62
Intelligent Advisor Systems ... J.W. Brahan – S. Abu-Hakima – R.A. Orchard – A. Parent – C.S. Phan 62
Knowledge-based Systems/Expert Systems for Machinery Monitoring and Fault Diagnosis ... H. El-Zorkany – P.L. Davidson – C.S. Phan 63
Engineering Information Systems ... F.B. Vernadat – A. Famili – W.H. Henneker – R.H. Wylie 64
DBS/R Maintenance and Development ... 64
Model Management Research ... 64
Machine Learning Applications in Manufacturing ... 65
Advanced Integrity Manager for DBS/R ... A. Famili 66
RECENT PAPERS — INFORMATION TECHNOLOGY SECTION ... 67

PHOTONICS AND SENSORS SECTION ... 69
Introduction ... 69
Three-dimensional Vision ... 70
Multiple-measurement-volumes 3-D Camera ... M. Rioux – F. Blais 70
BIRIS in Passive Mode ... F. Blais – M. Rioux 72
Improved Position Detection for 3-D Video Rate Vision Sensors ... J.-A. Beraldin – F. Blais 72
Techniques for the Extension of the Dynamic Range of Position Sensors ... J.-A. Beraldin – F. Blais 73
Interpretation of Three-dimensional Images ... P. Boulanger – M. Cung 73
Interfacing the Unigraphic CAD/CAM System with the 3-D Camera ... B. Lamb – P. Boulanger 74
Integration of Anthropometric Data ... N. Shewchenko – S. Filoso – P. Boulanger 75
Computer Vision Method for Matching 3-D Range Data Objects ... N.N. Abdelmalek 75
A Statistical Approach for Matching 3-D Range Data Objects ... N.N. Abdelmalek 75
An Interactive Program on the IIS Display for an Adaptive System for Matching 3-D Range Data Objects ... N.N. Abdelmalek – R. Kadamani 75
A Program for the Solution of Ill-posed Linear Systems Arising from the Discretization of the Fredholm Integral Equation of the First Kind ... N.N. Abdelmalek 75
Photonic Components for Data Processing and Sensing ... J. Chrostowski – S. Boothroyd – P. Maigné – M. O'Sullivan 76
Optical Processing and Optical Switching ... J. Chrostowski – M. O'Sullivan – S. Boothroyd 76
Nonlinear Optical Waveguides ... J. Chrostowski – S. Chelkowski – M. Fontaine – A. Rawicz 77
Photonic Probes for Electric Field and High Pressure Sensing ... J. Chrostowski – R. Gauthier – G. Hartsgrove – W. Bock 78
Eye-safe Operation of 3-D Laser Camera ... P. Maigné – M. O'Sullivan – R. Gauthier – J. Chrostowski 79
Investigation of the Structural Properties of Superlattices ... P. Maigné 79
Exotic Materials Polishing Facility ... A. Dufour – J. Chrostowski 80

RECENT PAPERS — PHOTONICS AND SENSORS SECTION 80

ROBOTICS AND AUTOMATION SECTION 83

Introduction 83
Robotics 83
Expert Off-line Programming System for Robotic Painting ..... P. Orban – G. Sawatsky 83
Robotic Welding Using Three-dimensional Vision ..... P. Chartier 84
Industrial Automation 84
Advanced Automation for Surface Inspection ..... S.F. El-Hakim 84
Passive Stereo Vision ..... S.F. El-Hakim 85
Grain Elevator Automation ..... G. Neilson 86
Feasibility Study of a Robot-based Coordinate Measuring Machine ..... G. The – P. Orban – G. Neilson – B. Van den Berg 87
Development of an Industrial Automated Guided Vehicle System ..... P. Orban – G. Sawatsky 88
Computer-aided Software Engineering ..... S.F.J. Wilk 88
Computer-aided Scheduling Systems ..... C.J. Wu – H. Liontas – J. Allston – P.W.U. Graefe 88
Knowledge-based Systems 89
Thromboembolism Detection System for Elective Hip Surgery ..... N. Pizzi 89
Expert System for Detection of Tonsillectomy/Adenoidectomy Bleeding Disorders ..... N. Pizzi 89
Oncology Treatment Management System ..... N. Pizzi 90
Quantificational Logic Expert System ..... N. Pizzi 90
Development of an Expert Scheduling System for Softgoods Manufacturers ..... G. Sawatsky 91

RECENT PAPERS — ROBOTICS AND AUTOMATION SECTION 91

APPENDIX A — ORGANIZATION CHART 93

APPENDIX B — STAFF LIST 95

DIVISION OF ELECTRICAL ENGINEERING

INTRODUCTION

The skills which have been developed over the years within the Division of Electrical Engineering are applicable to a very wide spectrum of activities. The Division must choose from within this spectrum the limited number of topics on which it will focus its attention. The choice is dictated by a variety of factors — industry demand, potential for impact, legislated responsibility, opportunities for collaboration, comments by reviewers, and so on. The refocusing initiated by the cuts of 1987 has been completed and during the past year there have been no major shifts in emphasis. Progress on ongoing projects has been steady and in certain cases exceptionally rapid.

The Canadian Institute of Industrial Technology (CIIT) in Winnipeg has had a very good year. The official opening in November 1987 was attended by 500 guests from industry, university, and the three levels of government. Private sector participation is steadily increasing and some of the early projects are beginning to come to fruition.

Technology transfer and collaboration with industry continue to grow in importance in terms of both the planning and the execution of Divisional programs. An agreement has been reached to commercially exploit the realtime multiprocessor operating system Harmony. The world class reputation of the Dielectrics group has made possible contract research agreements with industry from both Canada and the United States. The possibility of employing a new advanced laser vision camera, which can be mounted on a robot arm, in a variety of industrial applications is being explored. Potential short-term spinoffs related to "intelligent" wheelchairs are being sought as part of the new interlaboratory program which has as its long-term objective the development of a mobile robot for health care applications.

A program in Applied Artificial Intelligence, which is considered critical to a wide range of ongoing activities within NRC, has been established. It is proving immensely difficult to recruit experienced personnel for this specialty, but members of the existing staff are beginning to demonstrate significant capability and several applications projects are moving well.

A number of interesting new initiatives are being pursued by staff of the Division, in collaboration with a variety of outside groups. They include proposals for major institutes in areas ranging from Police and Security Research to Rehabilitation Research, programs to enhance Canadian industrial competence by working with the Canadian Manufacturers' Association and other government departments, and approaches to the utilization of existing facilities which will make them more valuable without significant financial expenditures. If there is a common element in all these initiatives, it is the drive and dedication of the staff members involved.

The summary above and the reports which follow can only give the reader an indication of the depth and breadth of the activities of the Division. I would urge anyone looking for more detail — to understand the technology, to explore potential collaboration, to look for opportunities for commercial exploitation — to contact the scientist, the Industrial Liaison Office, or myself. We know that the only true measure of the value of our work is the use to which it is put.

S.A. Mayman
Director
Division of Electrical Engineering
March 1988

INDUSTRIAL LIAISON OFFICE

Industrial Liaison Officer — A.M. Hlady

■ Organization and Activities

■ A.M. HLADY – G. NEAL – K. BIRNBAUM

One of the primary objectives of the Division of Electrical Engineering (DEE) is the performance of R&D in support of Canadian industry. To facilitate interactions with its industrial clients, the Division maintains an Industrial Liaison Office (ILO) whose mandate is to provide a link between DEE laboratories and the private sector. This is done by promoting awareness of Divisional capabilities, by helping to identify industry requirements, and by acting as a "broker" in arranging collaborative projects and transferring Divisional technology to the private sector. In performing these roles, the ILO works closely with the NRC Industry Development Office, in particular with the Industrial Research Assistance Program (IRAP) Field Network and the IRAP Laboratory Network, and it also maintains a close relationship with ILOs in other NRC Divisions.

Reflecting the continuing priority in the Division on technology transfer and interactions with industry, the Office staff has increased in the past year, largely through reallocation of personnel within the Division. This additional manpower has allowed the ILO to undertake a more extensive range of activities than was possible previously. In addition to its general role in industry liaison for the Division, the Industrial Liaison Office now includes two more specialized components: the Senior Advisor on CAD/CAM, Robotics, and Industrial Automation, and the Manager of the NRC Public Security Program.

The ILO has prepared a draft business plan with input from Divisional Management, Section Heads, and project managers. This document will have considerable influence on future activities of the ILO and serve as a guide for the Division as a whole regarding the interface between the in-house research activities and our client community.

One of the challenges in technology transfer is identifying companies interested in and capable of transforming laboratory technologies into commercial products. A recent initiative, involving use of a Request for Proposal process, selected P-Can Research Inc. of Toronto as the commercial distributor of the Harmony[1] realtime software technology.

Looking for other ways of finding industrial partners, the ILO has participated in preparing a Compendium of NRC Business Opportunities. This Compendium, which is being updated quarterly, identifies laboratory results that could have commercial potential and opportunities for collaboration that could lead to commercial spin-offs. The Compendium, administered by the Industry Development Office, is being promoted through the IRAP Laboratory Network and IRAP Field Network which have contacts with companies at a regional level across Canada.

Brochures and information pamphlets are useful tools in increasing awareness of our laboratories. During 1987–88, the Office initiated and participated in the preparation of brochures describing each of the three DEE Laboratories as well as a DEE Directory sheet listing the main research topics and a contact for each. The ILO also assisted in preparation of a DEE Highlights sheet and a narrated slide presentation describing the Division.

Exhibiting at conferences can also be an effective way of reaching a large number of people in a specific technical field at one time. A DEE booth was exhibited at the 1987 Annual Conference of the Electrical and Electronic Manufacturers Association of Canada. It is hoped to increase the number of such exhibits in the future.

Industry/laboratory collaboration and technology transfer to industry take place through a variety

[1]Mark reserved for the exclusive use of Her Majesty the Queen in right of Canada by Canadian Patents and Development Ltd.

of formal and informal mechanisms. Where collaborations involve a significant contribution of resources from two or more parties, it is generally desirable to formalize these joint ventures through signed agreements in order to ensure a common understanding of the project and on issues such as the ownership of intellectual property and the role and contribution of each partner. During the past year, the ILO has been involved in negotiating and preparing a number of collaborative agreements with partners in the industrial, university, and government sectors.

As part of its role in identifying industry needs, the ILO is the focal point in the Division for technical enquiries and R&D proposals from industry. Approximately 100 technical enquiries were handled by the Office in the past year. The technical depth of the responses to these enquiries depends on the degree to which they match the expertise and experience of DEE staff. The Division also reviews industrial R&D proposals on behalf of federal funding agencies including NRC/IRAP. Division of Electrical Engineering laboratory staff evaluate the proposals with respect to criteria such as the degree of technical risk and innovation and the suitability of the proposed technical approach. In some cases, reviewers are able to provide constructive criticism and suggestions regarding more promising technical approaches or other improvements. The Office handled about 135 R&D proposals in the past year.

The ILO also provides secretariat services for the NRC Associate Committee on Instructional Technology.

CAD/CAM, Robotics, and Industrial Automation

■ J. SCRIMGEOUR

CAN-MATE

In 1987 arrangements were completed with the Canadian Manufacturers' Association (CMA) for the establishment of the Canadian Manufacturing Technology Exchange (CAN-MATE). CAN-MATE is a national center operated by the CMA which will help Canadian manufacturers apply advanced technologies to production and processing in all industries, thereby improving their competitiveness in domestic and foreign markets. Its principal functions will be to provide information and advice to industry, organize multi-firm development projects, coordinate activities of manufacturing technology centers in Canada, and provide a national and international perspective to industry, the centers, and government. These advanced technologies include computer-integrated manufacturing and its component technologies; automated materials handling, testing and inspection, computer-aided design, robotics, and artificial intelligence.

Under an agreement between the NRC and the Canadian Manufacturers' Association, the NRC will provide the CMA with $3.5 million over seven years to assist in the operation of CAN-MATE.

NRC Associate Committee on Artificial Intelligence

The NRC Associate Committee on Artificial Intelligence (AI) was established in April 1987 to act as a focal point and forum in Canada for issues of national concern to the scientific and engineering communities.

The committee has developed a working paper on potential plans and activities. Key areas selected for priority include encouraging closer collaboration between AI users and the AI research community in university and government laboratories, providing advice to the federal government on strategic planning for AI and other information technologies, and providing advice to the National Research Council in the development of its application-oriented R&D program in computer technology and artificial intelligence. Secretariat services for the NRC-ACAI are provided by the Division of Electrical Engineering.

Publications

Preparation and writing of the *CAD/CAM Newsletter* continued in 1987. The *CAD/CAM Newsletter*, delivered monthly to close to 3000 persons across Canada, provides a world watch service on events and developments in CAD/CAM and computer-integrated manufacturing and is a major technology transfer activity originating within NRC. CAN-MATE is now beginning distribution of a monthly bulletin with a much larger distribution, which will incorporate the previous *CAD/CAM Newsletter* in abbreviated form. CAN-MATE will also maintain the full version of this publication in a publicly accessible on-line database.

An NRC publication collecting papers by authors from various NRC divisions working in the field of CAD/CAM and robotics has been produced. The publication, containing 37 contributions, brings together under one cover the results of many projects which previously were only available from a wide variety of sources.

As a contribution to the establishment of international standards in industrial automation by the International Standards Organization (ISO), a glossary of terms in industrial automation — to be available as a relational database for a personal computer — is being developed in collaboration with the Division of Mechanical Engineering.

International Advanced Robotics Programme

The Division of Electrical Engineering is providing Canadian representation and coordination for the Joint Coordinating Forum for the International Advanced Robotics Programme (IARP). Canada will host a meeting of the JCF countries in June 1988, including, as part of this activity, an international workshop on advanced robotic applications in medical and health care June 23–24 in Ottawa, Ontario. This is one of the Joint Coordinating Forum application areas and will be the first international activity sponsored by the JCF on this topic.

Public Security Program

■ J.G. ARNOLD

The Public Security Program came into existence on April 1, 1987, as a result of client-community discussions with NRC management after the NRC staff reductions of October 1986. With new funding and new initiatives a firm foundation was established, with the Public Security Program Manager (PSPM) sitting in the Industrial Liaison Office of the Division of Electrical Engineering.

The two primary objectives of the Program are to provide assistance to the Canadian law enforcement community in matters related to the application of scientific and engineering expertise to their unique problems and to provide assistance to Canadian industry by providing a focus for research and development related to Canadian-produced security products.

The PSPM is the NRC focus in the Program of Science and Technology in Support of Law Enforcement in Canada. The NRC is identified in the program as a prime research performer working on projects which are generated from four sources: the police community, the Royal Canadian Mounted Police (RCMP), NRC, and industry. The PSPM is a member of the Operational Research Committee of the Canadian Association of Chiefs of Police, which sets the priorities for the program projects. The PSPM reports directly to the Vice-President of Engineering at NRC. For operational matters he reports to the Director of the Division of Electrical Engineering.

Working in close collaboration with the police community, the PSPM directed most of his effort during the past year to a five-year research and development plan for that community. This plan identifies the need for a dedicated facility which would focus research and development requirements not only for the police but also for the Canadian security community.

Other highlights of collaboration in the year included:

- A feasibility study, the Pathfinder project, was contracted to the Waterloo Research Institute at the University of Waterloo. The Systems Engineering faculty with the RCMP, the Ontario Provincial Police, and Waterloo Regional Police are looking at the feasibility of using a tethered balloon outfitted with a sound and light system as a possible aid in the search for lost persons.
- A DNA – genetic engineering project at the Research Institute of the Children's Hospital of Eastern Ontario was supported. This work began as a collaborative effort with the NRC Division of Biological Sciences where research indicated that it might be possible to establish the identity of individuals by determining each person's unique DNA sequence.
- The GRASS (Geographical Resource Allocation Software System) became a commercial product this past summer. This crime analysis computer mapping system was developed with funds from the NRC IRAP program. ACDS Graphics Systems Inc. in Hull, Quebec, collaborated with NRC and the Ottawa Police Force, where the prototype resides, to commercialize the system.

During the coming year the Public Security Program Manager will continue to collaborate with the police community on their R&D requirements, as well as work on the Canadian Police and Security Research Institute proposal.

RECENT PAPERS — INDUSTRIAL LIAISON OFFICE

Published

- ☐ Scrimgeour, J. The evolution of CAD/CAM in Canada. CIM Review, 4(1): 48–52; 1987. NRC 29169.
- ☐ Scrimgeour, J. 1987 CAD/CAM, robotics and automation conference. CAD/CAM and Robotics. October 1987. pp. 20–22. NRC 29170.
- ☐ Scrimgeour, J. Patterns in the economic justification for computer integrated manufacturing. Compint '87, Montreal, P.Q. November 9–12, 1987. pp. 1–15 and Appendix A. NRC 28479. (Invited.)
- ☐ Scrimgeour, J. Computer integrated manufacturing. Don't ignore CIM any longer. Can. Mach. Metalwork. 81(1): 34–36; 1988. NRC 29171.
- ☐ Scrimgeour, J. and Vernadat, F. (*Editors*). Advances in CAD/CAM and robotics, NRC contributions. NRC/ERB-1003, May 1987. 515 pp. NRC 27454.
- ☐ Scrimgeour, J., and Vernadat, F. Advances in CAD/CAM and robotics: NRC contributions. Commentary and Bibliography. NRC/ERB-1013, May 1987. 27 pages. NRC 28126.

Presented

- ☐ Scrimgeour, J. The development and evolution of CAD/CAM in Canada. NRC/DEE Science Association, Ottawa, Ont. April 16, 1987.
- ☐ Scrimgeour, J. Artificial intelligence and intelligent systems in Canada. Canadian Society for the Fifth Generation Research, Third Annual Meeting, Ottawa, Ont. April 23–24, 1987.
- ☐ Scrimgeour, J. Artificial intelligence in Canada. The Federation of Engineering and Scientific Associations, Toronto, Ont. November 21, 1987.

LABORATORY FOR BIOMEDICAL ENGINEERING

Laboratory Head — O.Z. Roy

■ Objective

- To maintain a center of excellence for the creation, dissemination, and application of biomedical engineering knowledge and techniques in support of life quality and health care, and in collaboration with industry to develop and apply technology which will reduce costs and the need for chronic institutional care.

Sub-objectives

- To improve the quality of life of physically handicapped, developmentally delayed, and elderly persons through the design, development, evaluation, and application of devices and technology which address the problems associated with disability.
- To determine the effect of non-ionizing radiation on the biological system, in order to acquire an understanding of the interactive processes and the biological consequences of such radiation, and, in cooperation with other Canadian research organizations and industry, to apply this understanding to the development of health care safety and performance standards and to the development of new therapeutic and diagnostic instrumentation.

■ Program Description

The health care system encompasses two major sectors — chronic and acute care. In Canada, each consumes between $15 and $20 billion annually. The Laboratory for Biomedical Engineering, which is made up of two sections, the Rehabilitation Technology Unit located in Toronto and the Medical Engineering Section located in Ottawa, addresses concerns in each of the sectors.

The habilitation/rehabilitation program develops, evaluates, and commercializes technology that is critical to the chronic care sector. The program has concentrated on devices which have increased the independence and improved the quality of life of persons with severe disabilities. All of the output of this program is realized in products for disabled persons. Although the major portion of the development and application work is concentrated at the Rehabilitation Technology Unit, the Medical Engineering Section contributes a significant portion of its resources to this activity.

In the acute care sector, the Medical Engineering Section has focused its efforts on the effects of non-ionizing radiation and in particular on the effects of ultrasound. This program, which is being pursued in collaboration with the Molecular Biophysics Section of the Division of Biological Sciences of the National Research Council, is developing sensitive biological models which are of particular interest to pharmaceutical companies, in addition to measurement techniques, instrumentation, and standards which are of interest to other elements of the acute care industry. Projects within this program include the development of an ultrasonically guided laser angioplasty catheter, the ultrasound primary calibration facility, and the development of specialized magnetic resonance probes.

Future Directions and Priorities

- Develop an ultrasound guidance system for laser angioplasty.
- Increase emphasis on technology transfer.

- Study fetal effects of pulsed Doppler ultrasound instruments.
- Upgrade the ultrasound primary measurement facility.
- Develop a new Graphic MOD Keyboard.
- Develop and demonstrate an autonomous health care robot.
- Establish evaluation facilities for implanted orthopedic devices.

Clients and Collaborators

The Laboratory emphasizes external participation in all its research projects. It has found that one of the most effective ways of encouraging external participation while at the same time facilitating technology transfer is through seminars and conferences. During the past year the following meetings were convened in Ottawa.

- Technology for Developmentally Delayed Persons Seminar, attended by 120 participants.
- International Demography Workshop, organized on behalf of the Associate Committee on Research and Development for Rehabilitation of Disabled Persons, with 60 attendees.
- Workshop describing the biological test facility to 30 representatives of the pharmaceutical industry, conducted in cooperation with the Division of Biological Sciences.

The unit also published its biennial *Inventory of Projects in Bioengineering*, describing the R&D efforts of more than 200 scientists in 100 institutes across Canada. Included is a section on technology transfer where industry indicates the technology it wants and researchers describe the technologies which are ready for commercialization. As well, three newsletters (circulation 3000) were published on behalf of the Associate Committee on R&D for Rehabilitation of Disabled Persons.

Key Events

- Granting of the right to manufacture the magnetic resonance probe to Morris Instruments Inc.
- Interest by a major pharmaceutical company in the use of the biological test facility for cardiac drug testing.
- Agreement with Canadian National Institute for the Blind on a cooperative development and application program.
- Financial independence of the TASH marketing agency from the NRC $209K/a contribution.
- Development of technology and instrumentation to study larger isolated hearts (pig hearts). This brings the testing procedure closer to the clinical situation and impacts directly on areas involving heart preservation processes (transplants) and coronary bypass procedures.
- Automation of data gathering and analysis procedures for tests involving rat hearts and the magnetic resonance spectroscopy technology. Such streamlining will improve the ability of the unit to contract in.
- Technology transfer through three on-site seminars and publication of the *Inventory of Projects in Bioengineering*.
- Peer recognition of two members of the group: O.Z. Roy was made a Fellow of the Canadian Medical and Biological Engineering Society, and A.J. Mortimer was made a Fellow of the American Institute of Ultrasound in Medicine.
- Strong support by the External Review committees for the group's research activities and the technical aids distribution system. The committees recommended increased fiscal and personnel support. As a direct result of the review of the non-ionizing radiation activity, Health and Welfare Canada is proposing to share the cost of the ultrasound primary measurement facility.

MEDICAL ENGINEERING SECTION

Section Head — O.Z. Roy

■ Introduction

The Medical Engineering Section works in both the chronic care (habilitation/rehabilitation) and the acute care (effects of non-ionizing radiation) areas.

The habilitation/rehabilitation group emphasizes the adaptation of technology for the use or benefit of the client community. Much of its work is aimed at making microcomputers useful to the physically and mentally handicapped. Some effort is also being devoted to the prevention of handicap by developing a noninvasive method for measurement of biological data in order to diagnose osteoporosis in the elderly. The technique would be useful as well in planning surgical implants and in assessing the consequences of exposing astronauts to prolonged periods of microgravity.

The long-term goals of the non-ionizing radiation program are to develop more selective and more durable sensors, improved data collection and analysis techniques, and biological models at the cellular or microbiological level. The models and techniques are being used in collaborative projects with the Ontario Cancer Clinic, Health and Welfare Canada, and Agriculture Canada. The scientific data are being used by standards organizations both nationally and internationally. To complement its biological measurement capability, the program has developed a facility for calibrating ultrasonic transducers and for accurately measuring their radiation patterns. The unit provides cost recoverable calibration services to Canadian industry and Health and Welfare Canada, and takes part in intercomparison measurements with the National Bureau of Standards in the United States and with the National Physical Laboratory in the United Kingdom.

■ Habilitation/Rehabilitation Engineering

■ N.D. Durie – P.J. Nelson – L. Korba – R. Black

Cooperative Programs

A Robot for Use With Autistic Children

An Ottawa psychologist has partially developed a robot (Fig. 1) to be used in the treatment of autistic children. Such patients frequently have difficulty relating to humans, and there is some slim evidence that they may more successfully relate to a device such as a robot. The psychologist realized that the original robot had many deficiencies in both design and execution and, through the Industrial Development Office, asked this Laboratory for assistance. Improvements were made to the voice transmission system, a voice modifier was designed to make the psychologist's voice more "robot-like," and the motor drives and the steering system were completely redesigned. Permission to use the robot in trial runs at the Children's Hospital of Eastern Ontario is being awaited.

Grip Training Devices

Grip training devices with two widely differing applications, based on technology developed in this Laboratory several years ago, have been perfected by the Medical Engineering Section.

The original device, which was used to assist in grip training of children with cerebral palsy, has been redesigned for mentally disabled persons. The device works by illuminating a row of lights in sequence as long as a preset pressure is applied to the handpiece. Appropriate sound effects are used as incentives. A second device has been built for grip-release training. In this case, incentives are only

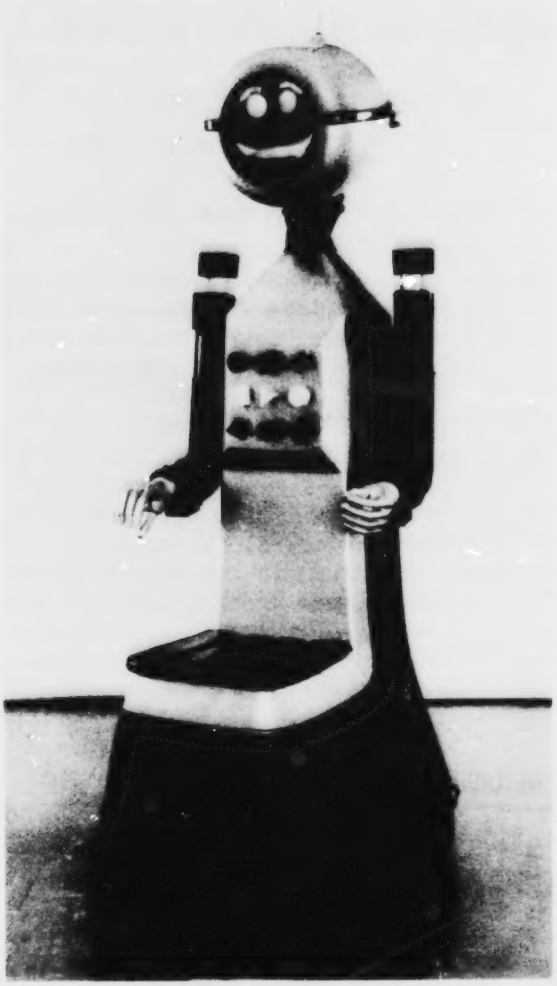


Figure 1 Robot for use with autistic children.

available if the handpiece is first grasped, then released on command. Both devices are in the field, being evaluated by therapists who work with mentally handicapped children.

A second application of this technology has been the development, in collaboration with the NRC Public Security Program, of a "grip trainer" to be used by a police force for pistol marksmanship training. When using the two-handed grip for pistol firing, the exertion of hand pressure in the wrong place disturbs the aim. A novel configuration of a capacitance-based sensor, plus a suitable circuit to measure the capacitance, was developed. This sensor gives an audible and visual indication of inappropriate hand pressure during firing of the pistol. The device has been evaluated at the firing range. The technology was turned over to the police force, with a recommendation that it be transferred to industry for manufacture and sale.

Toilet Training

This subject was addressed in a previous *Bulletin of the Division of Electrical Engineering* (Vol. 2, No. 6). At that time, a technique for detection of urine by its conductivity was reported. This technique has proven to be very useful during the subsequent two years of field trials. Two recent modifications, using visual or auditory indications of toiletting, have been installed in residences for mentally handicapped children in Ottawa and Kingston. When urine is detected, the information can be used by the staff of these residences in various ways.

Inventory of Projects in Bioengineering

This Inventory consists of a series of one-page summaries, submitted by about 200 investigators, each describing a current project in some aspect of biomedical engineering in Canada. These are compiled into a book, with several indexes to assist users in determining what research is underway. The book has been published every two years since 1979, with a new edition being prepared in 1987. The NRC Publications Sales and Distribution Office can be contacted for information on availablity and prices of the various issues.

Health Care Robot

Work has started on a robot for use in health care, a joint project between the Medical Engineering and Computing Technology Sections. Initial applications are expected to be in the geriatric field, where a robot could make the difference between independence and institutionalization, although other health care applications may also be appropriate. The project will emphasize collaboration with outside institutions and industries.

The first phase involves developing a mobile platform (using Cybermation's K2A platform) which can move through a room without colliding with obstacles in its path. The Medical Engineering group will develop an ultrasonic sensor array for obstacle avoidance, human body sensors, and incorporate techniques for sensor fusion within the software structure of the mobile platform.

One of the first requirements for this type of health care robot is that it be able to find the person whom it is to assist. From an extensive list of possible sensors several have been selected for study. In preliminary experiments, ability to detect heat and motion have been found to be useful. It is also proposed to give the robot voice response capability.

Microcomputer-based Moveable Light Training Aid

A training technique for enhancing communication skills has been developed and proven effective with developmentally delayed individuals. This technique involves the use of a device comprised of 2 to 16 illuminated squares, each identified by a picture or a word, and a selection switch. The squares are illuminated sequentially by pressing the selection switch. The user makes a selection by pausing longer than usual at an illuminated item.

To add more flexibility in terms of scanning techniques and output devices a single chip microcomputer version of the device has been developed, which can be used to emulate up to 64 switches. It is intended that this device be used with the "Talk-O" device (under development at RTU). In this application, selection of any one of the squares will generate a spoken output.

Conference on Technology for Developmentally Delayed Persons

The Medical Engineering Section hosted this conference, which was held in Ottawa on October 1–2, 1987, and attended by over 120 persons. Ten key speakers from across Canada and the United

States were selected to represent biomedical engineering, psychology, special education, speech pathology, vocational rehabilitation, and administration. A luncheon address, delivered by Mr. G. Abrahamsohn of the Ontario Ministry of Community ano Social Services, outlined the approach to the mentally handicapped by his provincial ministry. A panel discussion addressed the problems in integrating research and clinical practice. Round table discussions provided an opportunity for every delegate to make his views and concerns known.

Besides emphasizing technology, the conference stressed objective research to measure the effectiveness of devices and techniques used with the developmentally delayed population. Twenty exhibits showed recent developments, many of them focusing on computer-based pictographic communication systems. The proceedings of the conference are being prepared for publication.

"CopyKey" Keyboard-emulator Module

As a direct result of the Conference on Technology for Developmentally Delayed Persons, a three-way collaborative project has developed around the idea of a very simple keypad which developmentally delayed people could use to more easily interact with computer-aided instructional software. The most significant feature of the proposed module would be the ease with which it could be programmed, simply by electronically copying the required keystrokes from the host computer's keyboard (hence the name).

A prototype unit called a "Simple Keyboard Adapter" (SIMKA) was constructed around a single chip microcomputer in order to demonstrate how a few keys on a host computer can be replaced with alternate switches more appropriate to a disabled person. The prototype was demonstrated on an ICON computer, in collaboration with the Bio-Medical Engineering Unit at Queen's University, Kingston, Ontario, and the Schools, Computers and Learning project of the Ontario Ministry of Education.

Subsequently, a contract was issued to the Bio-Medical Engineering Unit at Queen's, which will work with the Prince Edward Heights institution at Picton, Ontario (Ontario Ministry of Community and Social Services), to study and survey the need for the CopyKey module throughout centers for developmentally delayed people. The study will simulate use of the proposed device under clinical conditions and compare performance with existing products which have some features similar to the proposed module.

MOD Keyboard System

The MOD System concept has been based on the use of a plug-in memory cartridge for the Commodore VIC-20 computer. The screen of the VIC-20 then displays a "keyboard," in effect, from which a disabled user can select characters, words, phrases, or menus of computer commands. The System connects to one of several popular personal computers, providing quick and easy access to all standard software available for that computer.

There are now three VIC-20 cartridges being distributed commercially: the Auto-MOD, the Elementary MOD, and the Clavier Elementaire MOD, making the VIC-20-based MOD System a complete product line. The Auto-MOD in particular has become very popular with clinics serving severely physically handicapped school children.

Recent enhancements added to the VIC-20 version are a new "auto-punctuation" feature to complement the existing auto-vocabulary features, emulation for the IBM-PC/AT and IBM-PS/2 keyboards, additional setup options to provide for nonstandard back-space codes and adjustable transmitting speeds between the Auto-MOD and its host computer, and a simple circuit card and supporting software to permit MOD System cartridges to be plugged into Apple-II/II + /IIe computers, for easier downloading and uploading of user files.

There is now a great deal of interest in seeing the Auto-MOD concept converted into a software package for IBM-PC-compatible computers, especially the newer lap-top portables. To this end, work has continued this past year under contract to translate the program into C language. A prototype of the resulting package has been laboratory tested and the remaining work requirements identified. It will be completed in the middle or latter part of the 1988–89 fiscal year.

Our previous work on the Elementary MOD Keyboard (EMK), in collaboration with the Hugh MacMillan Medical Centre, Toronto, Ontario, indicated the need for a similar system with graphic display capabilities. A proposal has been prepared for a major development in this direction. The most significant feature of the proposed development would be the ability to display and manipulate different libraries of graphic images or pictographic symbols, as well as text, making the system usable by pre-readers, nonreaders, and some developmentally delayed persons. Use of a hard disk will make it possible to combine digitized speech with the graphic images, to reinforce learning. The proposed system would support all scanning inputs of the present MOD System, plus a touch-screen, mouse, head-pointer, and other pointing-type inputs. Several rehabilitation centers and other groups involved with pictographic communications are interested in this system. Because of the magnitude of the project, outside financial support is being sought.

■ Orthopedics

■ R.C. BLACK – A. FOUX[1] – G.W.D. ARMSTRONG[2] – D. CHOW[2] – J.P. MURNAGHAN[2] – H.K. UHTHOFF[3] – M. LOVAS[4] – S. GILBERT[4]

Structural Analysis of Calcified Tissues

The Biomechanics Laboratory has continued to develop mechanical testing protocols for whole bone in conjunction with fracture healing studies of the Ottawa General Hospital. Nondestructive four-point bending tests are used in the assessment of prototype fracture plates. Recent experiments include comparisons of fracture plate surface contact profiles with respect to bone circulation and strength. Experimental fracture plates with variable uniaxial flexibility are under development for *in vitro* and *in vivo* evaluation. A novel cantilever test protocol was developed to contribute to the assessment of pharmacological agents on fracture healing.

Shoulder Biomechanics

Measurement of shoulder motion with the McDonnell Douglas 3 Space Tracker in 6 degrees of freedom has had additional hardware developed to permit static and dynamic calibration. In addition, a reference standing frame was completed for subject calibration. During the next year it is anticipated a demonstration will be perfected to indicate potential applications in the analysis of human motion.

Spinal Biomechanics

Development of implantable devices for anterior stabilization of the spine and associated instrument set (Fig. 2) has reached the marketing stage through a Canadian manufacturer, Terray Manufacturing Inc. A thoracic plate is now under development to complement the completed lumbar–lumbothoracic devices. Current tests are being conducted to evaluate fixation strategies by comparing screw designs and insertion techniques (with or without bone cement).

Commercialization

The orthopedic community in Canada has indicated serious interest in promoting the development of a Canadian marketing and manufacturing capability. Support for this concept has also been indicated by the Ontario Ministry of Trade and Technology, the Federal Department of Regional and

[1]Visiting research officer.
[2]Ottawa Civic Hospital, Ottawa, Ontario.
[3]Ottawa General Hospital, Ottawa, Ontario.
[4]Guest worker.

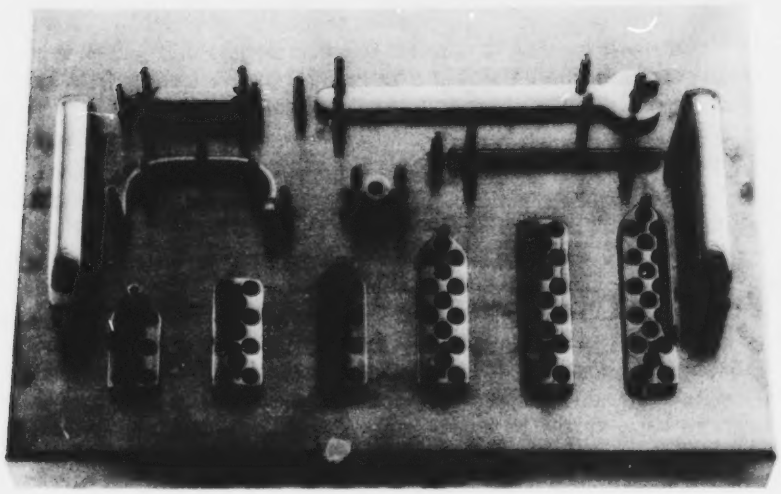


Figure 2 Anterior spinal instrumentation set.

Industrial Expansion, and NRC. A model role for NRC in the commercialization process has been explored, from participation in the complete engineering development of the spinal plates through to the marketing level. It has been proposed that upon receipt of a sound business plan an incubator-type project could be negotiated with NRC to provide facilities and support expertise to a core technical group for the purposes of CAD/CAM design and evaluation of prototype implants.

■ The Effects of Non-ionizing Radiation

■ A.J. MORTIMER – G.V. FORESTER

Safety of Diagnostic Ultrasound

The development of pulsed Doppler ultrasound systems for the evaluation of blood flow has allowed the introduction of diagnostic techniques such as detection of congenital heart defects, measurement of fetal blood flow, and assessment of placental blood supply, which are particularly important in some high risk pregnancies. Because of these important capabilities a new generation of instrumentation has become available. The new pulsed Doppler systems have acoustic output levels significantly higher than those in current use in diagnosis. In fact, the highest average intensity diagnostic levels are higher than the levels at which we have seen ultrasound-induced biological effects.

Several international efforts are underway to evaluate possible effects of ultrasound from pulsed Doppler systems. In the past year the contribution of the National Research Council of Canada has centered on understanding the biological mechanisms by which pulsed Doppler ultrasound interacts with the biological system. With this information *in vivo* studies currently underway can be developed most effectively.

The two principal mechanisms of action of ultrasound on biological systems are due to temperature increase and cavitation. While the thermal effects of ultrasound are reasonably well understood, possi-

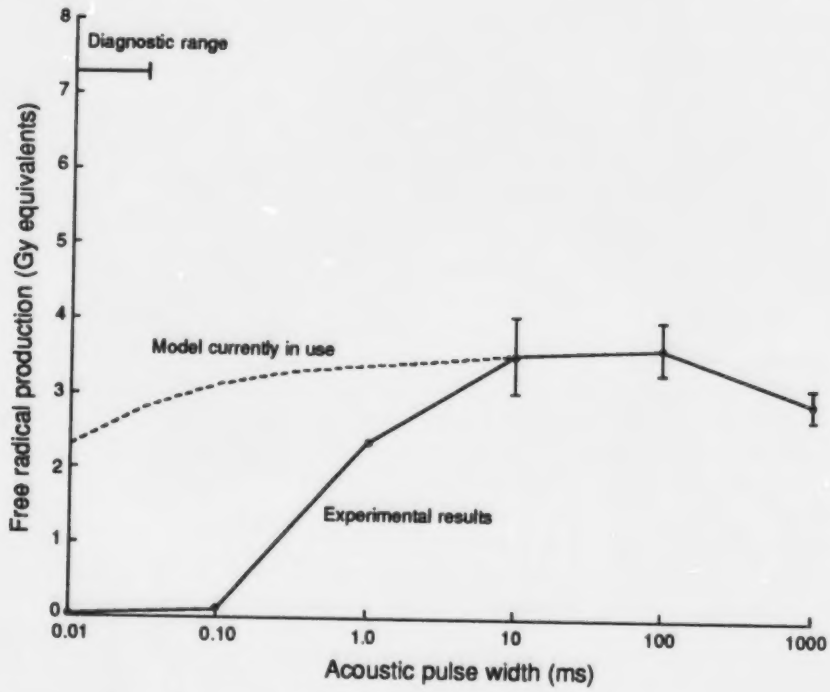


Figure 3 Free radical production caused by acoustic cavitation due to pulsed ultrasound. Significantly less cavitation is observed at diagnostic pulse lengths than has been predicted.

ble effects of cavitation are not. Using a detection technique developed in collaboration with Health and Welfare Canada, the potentially hazardous free radicals produced by acoustic cavitation have been measured. The results of these experiments (shown in Fig. 3) demonstrate that cavitation produced at pulse lengths similar to those of current diagnostic systems produce much less cavitation damage than predicted by the theoretical calculations presently used in safety assessment. This is the first study of cavitation due to pulsed Doppler systems and the results indicate that cavitation may not be a concern for fetal safety. Examination of the other mechanisms which may lead to deleterious effects continues.

Ultrasound Directed Laser Angioplasty

A recent development in cardiac surgery is the experimental use of an Excimer laser to remove plaque from within the coronary artery. Known as transluminal coronary angioplasty, the technique has the potential to eliminate surgery in many cases of coronary artery disease. Transluminal angioplasty may be performed without opening the chest, thus reducing hospital costs and increasing the rate of patient recovery. Excimer laser angioplasty produces an extremely clean incision with no burning or trauma to the blood vessels.

Although the utility of the Excimer laser in cardiac surgery has been demonstrated for open chest surgical cases at the Ottawa Heart Institute as part of a joint National Research Council of Canada/ Heart Institute/Lumonics Inc. program, the applicability of this technique is presently limited because of the cardiologist's inability to clearly distinguish between the plaque to be removed and the vessel

wall. It is necessary to remove plaque while leaving the vessel wall intact. An ultrasound ranging system is currently under development in the Medical Engineering Section which will allow this differentation between vessel wall and plaque. A prototype unit has been developed which will allow location of plaque and vessel wall within the focal zone of the laser. In addition, prototype catheter transducers have been developed which allow both the laser fiber and the ultrasound ranging system to be inserted in an artery and advanced to the area of the occlusion without opening the chest.

Tests with the prototype system indicate that it is possible to locate both plaque and vessel wall. The system is presently being further developed to enhance the detection of a variety of types of plaque and to improve the display to make it more useful in a clinical setting. Preclinical trials will take place throughout 1988.

Ultrasound Bioeffects

Studies by our group have shown that the heart can be a sensitive model for the bioeffects of ultrasound. One aspect of these studies is designed to relate the increase in heart performance with ultrasound application to metabolic events, in order to delineate the sequence of steps involved in these beneficial responses. The objective is to produce the prototype of a therapeutic device that may be used in a clinical situation. These studies also have applications in support of the health and safety component of the ultrasound program.

The metabolic status of the isolated working heart muscle has been studied using a highly sensitive coil probe developed at the National Research Council of Canada for use with magnetic resonance spectroscopy (MRS). P31 MRS can be used to measure the high energy phosphate compounds in the heart. Using the MRS technique, changes in the metabolism of the heart can be measured in as little as 30 s and therefore one can follow the course of events when ultrasound is applied. It has already been determined that ultrasound improves the heart performance by facilitating the utilization of the available energy reserve in both the normal and depressed heart.

More recent studies are involved in correlating metabolic and mechanical events in the heart after the heart has been arrested and is therefore ischemic. It has been shown that ultrasound can improve the recovery of the reperfused heart. With MRS it can be seen that ultrasound appears to promote an "overshoot" of the high energy compound phosphocreatine, which in turn allows the heart to begin to beat more strongly and quickly after the arrest period is terminated.

These types of studies, which address specific clinical situations, are helping the group develop effective tools for the clinical uses of ultrasound as well as supplying basic scientific data for use by health regulatory agencies.

■ Discovery Paradigms for Taxonomic Classification of Disease

■ D. Crabtree – J.W. Brahan – H.T.J. Mount[1] – M. Niktash[2] – I.S. Pressman[2]

Motivation for this project stems from interest in discovery learning, particularly in classification, in evaluating machine-based methods to augment human skill, in developing new methods for the same purpose, and in research to understand related processes of human cognition. A need for solutions to certain problems of knowledge-based systems forms the basis for one rationale. Knowledge-based systems are expensive to build, complex to maintain, and require large commitments of scarce manpower. Nevertheless, engineers and planners perceive that these systems possess the potential for wide-ranging applications in situations where learning from observation is a necessary skill but providing for human operators is not always practical. Discovery learning may provide solutions to these problems and is therefore a critical topic for future research.

The project team set the following objectives: to model the classification of disease processes, to select or develop a class discovery paradigm reflecting the characteristics of the resulting model, and to

[1]Ottawa Civic Hospital, Ottawa, Ontario.
[2]Carleton University, Ottawa, Ontario.

implement the paradigm and evaluate its performance at classifying a database on familial retinal degeneration (FRD). A prerequisite to attaining these objectives was to find methods of representing, and to store, complex medical data in machine readable form.

Discovery learning acts on observed data to reveal new knowledge in the form of some previously unknown structure. The focus on medical data stems from the involvement of a medical expert on the project team, from accessibility of data provided by this expert, and from the expectation that the project may produce valuable medical conclusions.

A survey of the medical and AI literature has revealed very few examples of work on discovery or machine learning. All but one resulting medical citation related to numerical methods for disease classification which act on observed data only. One objective is to apply knowledge-based techniques to investigate if they will yield better classifications than numerical methods. The AI literature contains knowledge-based models and related paradigms that imitate human performance to varying degrees.

There are two opposing approaches to implementing automata. One approach begins by studying how humans perform. The result is an anthropomorphic model to describe the process. The other begins with a stroke of ingenuity that results in a purely synthetic model. Implementation by either approach is completed in the form of an artifact based on the respective model. For instance, mechanical limbs contrast with wheels for locomotion and, in this case, the synthetic model has presented many superior advantages. The project team is taking both anthropomorphic and synthetic approaches to modeling and implementing classification skill.

The anthropomorphic approach has resulted in a model for the classification skill that clinicians exhibit. The notion that physicians use their training and skills to classify disease forms the nucleus of this model. The skills noted are based upon perceiving differences among classes according to certain classification criteria which are formed on expert knowledge and upon observations made by the expert. The model, however, presents a number of implementation problems. By contrast, the synthetic approach is facilitated by the existence of some paradigms which the project team can evaluate for classificatory performance.

Until this project began, no database on FRD existed in machine readable form. A significant part of the effort this year has focused on creating a pilot version of the database and on clinical testing to obtain the data for this purpose. The team developed an entity-relationship model for the data upon which construction of the database has proceeded. When complete, this pilot version will include records of 54 holotypic subjects representing six noninclusive classes of FRD according to a current fuzzy classification and approximately 100 records of nonholotypic subjects. (A holotype for a class is a description of an individual that best typifies that class. The individual may be a real subject or imagined as when composite attributes are formed on more than one subject.)

The development of a model for disease classification has paralleled the database creation. In principle, introducing more domain knowledge into the classification process should improve the classification. Supporting this notion, the relationship between the data model and the domain knowledge became apparent as the modeling exercise proceeded. This strengthened the hypothesis that these two entities are inseparable and suggested that building a knowledge base and a database in tandem may be necessary.

The second researcher has recently studied some alternative models and their associated paradigms during a three-month placement at the Turing Institute, a center for AI research and development in the United Kingdom. The experience gained has enabled the project team to identify methods to implement a prototype system.

■ Space Life Sciences

■ A.J. Mortimer – R.C. Black

Over the past five years the Biomedical Engineering Laboratory has been participating in the

development of space life sciences in cooperation with the Space Division. The activities include planning, organization, information dissemination, and flight-related coordination and preparation. Opportunities in microgravity research now include access to a variety of carriers: KC-135, T-33 jet trainer, sounding rockets, shuttle, and biosatellites. Areas of research in which Canadian investigators are now engaged include neuro-vestibular, calcium and bone metabolism, energy expenditure, embryology, cardiovascular, cerebrovascular, postural changes, telemedicine, and protein crystalization.

Long-range planning includes the development of opportunities to participate in the space station when facilities are available in the mid-1990's. Considerable interest has been expressed in collaborative evaluation of the Space Station's Health Maintenance Facility in Canada's remote north. In addition special research systems will need to be developed internationally. Joint working groups are being developed with international partners to enhance such collaboration.

RECENT PAPERS — MEDICAL ENGINEERING SECTION

Published

- ☐ Black, R.C. A report on "Spacebound '87, The First Canadian Workshop on R&D Opportunities on Board the Space Station." Proceedings of the 13th Canadian Medical and Biological Engineering Conference, Halifax, N.S. June 9–12, 1987. p. 209. (Extended abstract.) NRC 29159.
- ☐ Black, R.C., and Roy, O.Z. Biomedical engineering activities of the National Research Council of Canada. Proceedings of the Canadian Engineering Centennial Convention, Montreal, P.Q. May 18–22, 1987. (Extended abstract.)
- ☐ Black, R.C., and Roy, O.Z. A survey of biomedical technology within the NRCC. National Research Council of Canada, Ottawa, Ont. June 1987. 9 pages.
- ☐ Black, R.C., St. George, M., Gilbert, S., and Armstrong, G.W.D. Contoured anterior spinal fixation plate. Proceedings of the 13th Canadian Medical and Biological Engineering Conference, Halifax, N.S. June 9–12, 1987. pp. 3–5. NRC 29158.
- ☐ Black, R.C., Roy, O.Z., and Deslauriers, R. A laboratory program for biomedical technology at the NRCC. Appendix to the Health Care Cost Containment Initiative presented to Council September 1987. 10 pages. NRC 29174.
- ☐ Black, R.C., Gardner, V.O., Armstrong, G.W.D., O'Neil, J., and St. George, M. A contoured anterior spinal fixation plate. Clin. Orthop. 227: 135–142; 1988. NRC 29163.
- ☐ Crum, L.A., Walton, A.J., Mortimer, A., Dyson, M., and Crawford, D.C. Free radical production in amniotic fluid and blood plasma by medical ultrasound. J. Ultrasound Med. 6: 643–647; 1987. NRC 29164.
- ☐ Forester, G.V., Peterson, E.A., and Roy. O.Z. Effect of therapeutic level ultrasound on visual evoked potentials in the hypoxic cat. Ultrasound Med. Biol. 13(5): 259–265; 1987. NRC 27838.
- ☐ Forester, G.V., Geoffrion, Y., Roy, O.Z., Smith, I.C.P., and Mortimer, A.J. Ultrasound induced increase in myocardial contractility: Metabolic effects measured by P31 MR spectroscopy. Proceedings of the 13th Canadian Medical and Biological Engineering Conference, Halifax, N.S. June 9–12, 1987. pp. 171–172. NRC 29172.
- ☐ Hranchuk, K.B., Durie, N.D., and Ehrenworth, J. Research methods to assess training techniques for severely retarded children, using various devices. Proceedings of the Conference on Technology for the Developmentally Delayed, Ottawa, Ont. October 1–2, 1987. pp. 29–33. NRC 29154.
- ☐ Korba, L.W., Black, R.C., Murnaghan, J.P., Lovas, M., and McSheffrey, L. Three dimensional shoulder joint measurement. Proceedings of the 10th Annual Conference on Rehabilitation Engineering, San José, CA. June 19–23, 1987. pp. 338–340. NRC 29162.
- ☐ Korba, L.W., Nelson, P.J., and Park, G.C. The MOD Keyboard: a progress report. Proceedings of the 10th Annual Conference on Rehabilitation Engineering, San José, CA. June 19–23, 1987. pp. 699–701. NRC 29161.

- McLean, J.R., and Mortimer, A.J. A cavitation and free radical dosimeter for ultrasound. Ultrasound Med. Biol. 14(1): 59–64, 1988. NRC 29157.
- Mortimer, A.J. Experimental science in the period before Space Station. "Spacebound '87," First Canadian Workshop on R&D Opportunities on Board the Space Station, Ottawa, Ont. May 8, 1987. pp. 113–114. (Extended abstract.) NRC 29156.
- Mortimer, A.J., and Trollope, B.J. Altered myocardial contractility with pulsed ultrasound. Ultrasound Med. Biol. 13(9): L567–L569; 1987. NRC 29160.
- Roy, O.Z., Trollope, B.J., and Scott, J.R. Measurement of regional cardiac fibrillation thresholds. Med. Biol. Eng. Comput. 25: 165–166; 1987. NRC 29155.
- Roy, O.Z., Forester, G.V., and Mortimer, A.J. The biological effects of ultrasound: an overview. Proceedings of the VIIth Nordic Meeting on Medical and Biological Engineering, Trondheim, Norway. June 28 – July 1, 1987. pp. 1–6. (Invited.) NRC 29173.

Presented

- Batelaan, J., and Nelson, P.J. Development of assistive devices for handicapped persons within the Laboratory for Biomedical Engineering. NRC/DEE Science Association, Ottawa, Ont. February 9, 1988.
- Black, R.C. Kinesiology: basic concepts. Bioengineering Lecture Series, Ottawa General Hospital, Ottawa, Ont. January 7, 1987.
- Black, R.C. A historical perspective of the development of the Canadian Space Life Sciences program and a review of its current activities. NASA/Canada Life Sciences Planning Meeting, Washington, DC. January 13, 1987.
- Black, R.C. Kinematics: basic concepts. Bioengineering Lecture Series, Ottawa General Hospital, Ottawa, Ont. February 4, 1987.
- Black, R.C. Non-evasive estimation of bone strength. Seminar, Disorders and Treatment of the Musculo-Skeletal System, Ottawa Civic Hospital, Ottawa, Ont. February 13, 1987.
- Black, R.C. Gait analysis. Bioengineering Lecture Series, Ottawa General Hospital, Ottawa, Ont. March 4, 1987.
- Black, R.C. A summary of presentations pertaining to Life Sciences. "Spacebound '87," First Canadian Workshop on R&D Opportunities on Board the Space Station, Ottawa, Ont. May 6–8, 1987.
- Black, R.C., Armstrong, G.W.D., St. George, M., Gilbert, S., and Gardner, V. The development and assessment of an anterior fixation plate. Educational Course "Disorders and Treatment of the Musculoskeletal System," Ottawa Civic Hospital, Ottawa, Ont. February 20–21, 1987.
- Black, R.C., Gardner, V.O., Armstrong, G.W.D., and St. George, M. Anterior spinal fixation plate. 21st Annual Meeting of the Canadian Orthopedic Research Society, London, Ont. June 14–17, 1987.
- Crabtree, D. Paradigmes de découverte pour la classification taxonomique des maladies. Department of Electrical Engineering, École Polytechnique, Montreal, P.Q. December 9, 1987.
- Crabtree, D., Brahan, J.W., Mount, H.T.J., Niktash, M., and Pressman, I.S. Finding order in chaos. Annual Conference of the Canadian Advanced Technology Association, Ottawa, Ont. April 18, 1988.
- Durie, N.D., Hranchuk, K., and Nelson, P.J. Technology to assist in community integration of the mentally handicapped. 3rd Canadian Congress of Rehabilitation, Quebec, P.Q. June 2–5, 1987.
- Durie, N.D. Hranchuk, K., and Nelson, P.J. Technology and the developmentally disabled: some recent work at the National Research Council. Canadian Physiotherapy Association 1987 Annual Congress, Saint John, N.B. June 11, 1987.
- Foulds, R., Newell, A., Soede, M., Hunnicutt, S., Arnott, J., Heckathorne, C., and Nelson, P.J. Research and applications of lexical prediction in augmentative communication. Seminar, RESNA '87: 10th Annual Conference on Rehabilitation Technology, San José, CA. June 19–23, 1987.
- Foux, A., Black, R.C., and Uhthoff, H.K. Flexural rigidity (EI) asymmetry in beagle femora. SIROT 87, IVth World Congress, Munich, Germany. August 15–17, 1987.

- ☐ Foux, A., Black, R.C., and Uhthoff, H.K. Healing evaluation of plated bones by flexural rigidity (EI) asymmetry changes. International Society for Fracture Repair, Inaugural Meeting. August 31 – September 2, 1987.
- ☐ Korba, L.W., Park, G.C., and Nelson, P.J. Living with the MOD Keyboard. 3rd Canadian Congress of Rehabilitation, Quebec, P.Q. June 2–5, 1987.
- ☐ Mortimer, A.J. Ultrasound therapy. Ottawa Rehabilitation Centre, Ottawa, Ont. March 4, 1988.
- ☐ Mortimer, A.J. Cavitation and membrane transport of calcium. Allerton Meeting on Ultrasound Biophysics, Monticello, IL. May 26, 1987.
- ☐ Mortimer, A.J. The effect of ultrasound on membrane transport in living systems. Carleton University, Ottawa, Ont. September 21, 1987.
- ☐ Mortimer, A.J. Directions for life sciences research in Canada. American Society for Gravitational and Space Biology Annual Meeting, Logan, UT. October 21, 1987.
- ☐ Mortimer, A.J. Recent advances in ultrasound therapy. Physiotherapy Department, Ottawa Rehabilitation Centre, Ottawa, Ont. November 4, 1987.
- ☐ Mortimer, A.J., and Dyson, M. Ultrasound enhanced calcium transport in fibroblasts. 32nd Annual Meeting of the American Institute of Ultrasound in Medicine, New Orleans, LA. October 9, 1987.
- ☐ Nelson, P.J. Recent developments in assistive devices for communications disabilities. Spring Seminar Series, Élisabeth Bruyère Health Centre, Ottawa, Ont. May 7, 1987.

REHABILITATION TECHNOLOGY UNIT

Section Head — J. Batelaan

■ Introduction

The development program of the section has evolved over a period of 15 years. In 1973, Mr. Bud Cairns of Toronto, a quadriplegic, convinced government officials to set up a mechanism to support the production of an environmental control system which he had developed for his own use. His main interest was availability of this rehabilitation aid at a reasonable price to other people with similar severe disabilities. The electronic system, which he called TOSC, allowed people to operate telephone, intercom, television, lights, etc., with a set of switches, such as a puff and sip switch.

A production engineering group of Prosthetic Services of Health and Welfare Canada took on the task of coordinating the production of this system. A number of alternative input switches, now called Ability Switches, were developed to provide disabled persons with a choice of control over the equipment. The group also took on the coordination of production of rehabilitation aids developed originally by others at universities, rehabilitation centers, or hospitals. In 1978, the development group was transferred to the National Research Council of Canada and was named the Rehabilitation Technology Unit (RTU).

The establishment of a marketing company for the rehabilitation aids was an essential step in the subsequent success of this development program. A nonprofit company, Technical Aids and Systems for the Handicapped (TASH), was organized in 1979 under the umbrella of the Canadian Rehabilitation Council for the Disabled.

The main components of the program were now in place. New rehabilitation aids for severely handicapped persons are developed by various institutions, including the RTU, and by individuals. The RTU will take on the development from prototype to a product, provided it meets criteria set by external evaluators. It also transfers the technology to an industry which is able and willing to manufacture the product in small production runs of 50 to 100 units each. The marketing company, TASH Inc., purchases the items from the various manufacturers and sell the aids directly to users or indirectly through dealers.

At present, TASH Inc. sells over 80 different items, and more than 90% of these items are available as a direct result of this product development program. The products include some relatively simple items such as mounting hardware for switches and keyguards for computer keyboards, but also about 10 microprocessor-based technical aids and a wide selection of Ability Switches. TASH Inc. now has a staff of eight people and their 1988 sales are expected to be 1.5 million dollars. Over 60% of these sales are outside Canada, mainly in the United States.

■ Production Engineering of Aids for the Handicapped

■ J. Batelaan – W.G. Bennett – I.P. Clark – A.W. Liu

A major fraction of the development work this year went into improvements of technical aids which are already available from TASH Inc. For instance, the keyguard for the Apple IIe computer was redesigned for the latest version of this computer's keyboard. Other items were redesigned to reduce manufacturing costs or provide added features. Improvements were made on at least 14 different items. One of the more complex and larger sub-projects under development is a wheelchair interface for electric powered wheelchairs. This system, called the DIRECT, will be described in some detail.

The DIRECT

Electric wheelchairs are normally driven using a proportional joystick. This provides the operator with an unlimited range of input signals to the wheelchair control unit. These analog signals are interpreted by the control unit and used to determine the speed and direction of rotation of the driving wheels. However, persons with some physical handicaps are not able to utilize the normal joystick.

Four years ago a module was designed allowing discrete switches to mimic the signals produced by a proportional joystick. A standard four-position joystick can produce a total of eight discrete switch closure combinations. Using such a joystick the operator can select one of eight possible combinations of motor speed and direction of rotation. These eight combinations were chosen carefully to give maximum mobility to the chair. Unlike the proportional joystick that is pushed further to make the chair go faster, the switch joystick can only provide an ON/OFF signal. The speed is therefore chosen by the operator using a fifth switch in the joystick, from one of three possible options.

Two commercially available products evolved from these first units, the Commander for the Fortress wheelchair and the Pilot for the Everest and Jennings wheelchair. These modules also have incorporated, for convenience, the ability to remotely control devices in the immediate vicinity such as lights and appliances equipped with appropriate receivers.

The success of these modules (over 1000 sold to date) led to the development of additional interface units allowing wheelchair control with only two switches. Codes composed of long and short switch closures of one or both switches allowed either a dual switch placed behind the head or a puff/sip switch to be used to drive the chair.

The DIRECT is a microprocessor-based electric wheelchair interface which includes all of the features discussed above in a single unit. It provides the user with the choice of one of three switch interfaces for controlling the chair and the remote environmental control features. These are the five-switch Chin Joystick interface, a two-switch Head Control interface, and a two-switch Puff/Sip interface. These switch interfaces address a population previously unable to drive an electric chair using the standard proportional joystick. The Environmental Control System transmits signals (infrared and ultrasonic) compatible with remote receivers presently available for the control of lights, radios, televisions, and other appliances. An additional feature incorporated in the DIRECT is an attendant override, which can be used by an attendant to assist in moving the chair when the user requires help or is unable to drive the chair himself.

The DIRECT is composed of two parts, a main control unit mounted behind the chair and a small display unit wired to the main unit. The display unit uses LEDs on a pictorial display to indicate the functions being controlled. After the user becomes experienced with the device it is expected that audio feedback provided by beeps will be all that is required to operate the interface.

The use of a microprocessor has reduced considerably the complexity of the hardware in the module, reducing the total cost. It has also made it almost universal with only minor software changes and interconnecting cable modifications required to match it to any wheelchair. The microprocessor also proves flexibility for future experimentation. Software modification may be possible to improve wheelchair control with features such as power boost at slow speed, infinite speed control, acceleration and deceleration control, and speed feedback for improving tracking.

The DIRECT was developed under contract by MARFtec Inc. of Scarborough, Ontario, to operating and packaging specifications provided by RTU. A second generation design is under development in preparation for full-scale manufacturing, with commercial availability planned for early fall.

RECENT PAPERS — REHABILITATION TECHNOLOGY UNIT

Presented

- ☐ BATELAAN, J., AND NELSON, P.J. Development of assistive devices for handicapped persons within the Laboratory for Biomedical Engineering. NRC/DEE Science Association, Ottawa, Ont. February 9, 1988.

LABORATORY FOR ELECTROMAGNETIC AND POWER ENGINEERING

Laboratory Head (Acting) — M.M.C. Collins

■ Objective

- To provide, through applied research in cooperation with Canadian electrical utilities and manufacturers and other government departments, standards, testing procedures, and technology in the areas of precision measurements, electromagnetic compatibility, and dielectrics.

Sub-objectives

- To anticipate and meet the electrical measurement requirements of the Canadian electrical power industry by developing state-of-the-art measurement techniques and instrumentation and by providing basic knowledge related to critical issues such as national and international standards for high voltage impulse measurements and accelerated aging tests for electrical equipment and materials.
- To improve the understanding of electromagnetic interference/electromagnetic compatibility (EMI/EMC) in order to develop diagnostic instrumentation and calibration and testing facilities and to contribute to the development of national and international EMI/EMC standards.

■ Program Description

The precision measurements group has concentrated on the development of techniques and instrumentation to accurately measure electrical quantities such as current, voltage, and power, making use of the latest microprocessor technology. This work is being extended to higher accuracies and also to include the effect of distorted waveforms on metering apparatus, which is a major problem to the utilities and the Canadian Standards Assocation. The National Research Council is the leader in North America in this type of measurement. A facility has been established for calibration of secondary standards for industry as well as international comparisons. By development in the laboratory and participation in an international measurement assurance program the group also maintains an up-to-date impulse voltage measuring system for the calibration of industrial systems. An important part of this work is the application of digital techniques in a high voltage environment. This work makes a major contribution to national and international standards.

The electrical insulation group focuses on the development of standard accelerated aging and diagnostic tests for electrical insulating materials used in electrical equipment. Such tests require a knowledge of the fundamental mechanisms of long-term deterioration of electrical insulation systems when exposed to environmental and high electric stresses. The new tests and measurement techniques are based on a mechanistic approach rather than the empirical one which was used previously. A by-product of this work is the development of insulating materials more resistant to aging which would represent a significant cost saving to utilities and manufacturers. The group is also participating in an international comparison test to evaluate electrical insulating materials.

In 1980 DEE initiated a project to study the ultra-fast impulses associated with lasers. This group has now expanded its horizons to include the modeling and simulation of the effects of Nuclear Electromagnetic Pulses (NEMP) and Lightning Electromagnetic Pulses (LEMP). The availability of this expertise has led to a joint project with the Department of National Defence (DND) to develop a

large-scale NEMP test facility and to further develop NRC's modeling capabilities. An agreement with DND has been signed.

Future Directions and Priorities

The future work and direction continue to be modified by formal and informal discussions with personnel from industry.

Present plans include:

- Improve instrument calibration facilities by extending frequency range and by automation.
- Participate in the establishment of the new interdivisional Program for Standards and Precision Measurements.
- Complete international standards on high voltage impulse measurements.
- Continue research into the mechanisms which degrade high voltage insulation and the development of accelerated aging tests.
- Model and design pulse power units for both current injection and field generation related to testing the effects of electromagnetic pulses.

Clients and Collaborators

The Laboratory maintains contact with a broad range of external clients who have an input into program planning, participate in the program, and make use of the technology and devices developed. Discussion with utility research organizations, the utilities themselves, and at committee meetings of the Canadian Electrical Association (CEA), the Canadian Standards Association (CSA), and the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) provides useful input and comments on the projects. Personnel from these organizations participate with NRC staff in the planning. Companies such as Guildline Instruments Ltd. and Multi-Amp Canada Limited manufacture NRC-developed devices. The technology and expertise is used by committees of the CEA, CSA, and IEEE, by manufacturers, and by other government agencies.

The work in EMI/EMC receives major support from the Department of National Defence. One staff member is now working in its laboratories. In addition, contacts have been made concerning electromagnetic pulse (EMP) analysis and testing with Canadian industry and other government departments.

Cooperative research projects and collaborative research with nine utility research organizations and manufacturers are under way or have been completed in the past year. Nine visitors from China, under a contract with British Columbia Hydro International, worked with the precision measurements group for periods ranging from 1 to 12 weeks.

Key Events

- Signing of memorandum of understanding with DND for cooperative effort in electromagnetic pulse research and DND facility development.
- Evaluation of the effectiveness of various ultraviolet stabilizers in preventing electrical tree initiation in extruded high voltage cable insulation.
- Development of a time-division multiplier wattmeter having an accuracy better than 100 ppm up to 1 kHz. This represents an extension of the frequency range by an order of magnitude.
- Completion of a joint research project with the Ontario Hydro research laboratory to evaluate a new technique to measure the breakdown strength of porcelain insulators.

- Successful completion of privatization of some of the Electromagnetic Engineering Section facilities. MPB Technologies Inc. of Montreal has entered into an agreement with NRC whereby it will make use of the Montreal Road facilities for antenna design and testing, industrial microwave applications, and dielectric measurements at radio and microwave frequencies.
- Completion of an *in situ* calibration of three types of measuring systems for large power transformers at the Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ) using the load loss standard developed within the unit.
- Made intercomparisons of electric power measurements with the Institut Mihailo Pupin, Belgrade, Yugoslavia, the Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Federal Republic of Germany, and the National Bureau of Standards, Gaithersburg, U.S.A. The agreement was within 20 ppm.
- Design and construction of apparatus to perform thermally stimulated current tests in polymers. Such tests will clarify the role of trapped charges on insulation degradation.
- Establishment of a transfer standard for high voltage impulse measurements and comparison of accuracies between national laboratories in Canada, Germany, the United Kingdom, and the United States.
- Completion of a study of the effect of temperature on water tree growth in extruded high voltage cable insulation.
- Completion of a preliminary study and measurements of the effects of NEMP coupling into communication lines.
- Completion of high frequency loss measurements of three inductive reactors for a Canadian manufacturer.
- Contribution to International Electrotechnical Commission (IEC) and IEEE standards on digital techniques in high voltage impulse measurements. This is the first time digital techniques have been incorporated into these standards.
- Contribution to the revision of IEC Publication 60, *High Voltage Test Techniques — Measuring Systems*. This revision has resulted in the simplification of the qualification tests for impulse measuring systems.
- Peer recognition of several members of the Laboratory: Dr. R.J. Densley was made a Fellow of the IEEE; Dr. E. So received the prize paper award from the IEEE Power Engineering Society's committee on Power Systems Instrumentation and Measurement for his paper "The Application of the Current Comparator for HV Power Measurement at Very Low Power Factors"; two cooperative program students won awards for their work completed with the group during their work terms — one won the Eastern Newfoundland Engineering Society Prize, and the other an Award of Excellence given to students by the Association of Professional Engineers of the Province of British Columbia.
- Publication of a book, *The Current Comparator*, by W.J.M. Moore and P.N. Miljanic.

POWER ENGINEERING SECTION

Section Head — W.J.M. Moore

■ Introduction

The Power Engineering Section consists of three different groups, precision measurements, electrical insulation, and electromagnetic interference/electromagnetic compatibility (EMI/EMC). Each group is associated with a particular facet of the electric power industry and consequently has slightly different objectives.

The objective of the precision measurements group is to anticipate and meet the electrical measurement requirements of Canadian industry by developing new and improved measuring techniques and instrumentation. The subject areas under study are power measurements (including distorted waveforms), voltage references to improve the accuracy of measuring ac voltages relative to a dc standard, and calibration of various types of hardware such as instrument transformers and wattmeters. A major new activity is the on-site calibration of test equipment used by manufacturers of large power transformers and inductive reactors, using a precise low-power factor load loss simulator developed by the group.

The objective of the electrical insulation group is to determine the mechanisms of long-term deterioration of electrical insulation subjected to high electric stresses and from these fundamental studies develop standard accelerated aging tests which will be acceptable to and used by industry. The accelerated aging must duplicate real aging phenomena and not introduce mechanisms of aging which do not normally occur under service conditions. The studies have focused on the aging of polymeric materials used in high voltage cables. Different aging mechanisms occur depending on whether or not the insulation is exposed to moisture in normal operation.

The objective of the electromagnetic interference/electromagnetic compatibility group is to advance the state-of-the-art in the area of EMI/EMC, with special emphasis on pulse measurements relevant to Canadian industry, public safety, and national defence. The EMI/EMC group contributes to national and international EMI/EMC standards and provides appropriate testing and calibration facilities. The main activities of the group are in the areas of EMI measurements, EMI generation, numerical modeling, measuring system calibration, and electronic systems hardening.

■ Precision Electrical Measurements

■ W.J.M. Moore – E. So – P.S. Filipski – R.J Arseneau – P.N. Miljanic[1]

Power and Energy Measurements

Work is continuing on automating the operation of the power bridge and extending its capabilities.

A number of improvements have been made to the three-phase nonsinusoidal test system. A new voltage amplifier and two new arbitrary waveform generators were integrated into the system. Work is continuing on new software to automate test procedures.

A program for evaluation of revenue meters, entitled Optimum Metering System for Loads with High Harmonic Distortion, was undertaken as a joint project with Nova Scotia Power Corporation under contract to the Canadian Electrical Association (CEA). Fifteen meters were studied with distorted waveform conditions observed and registered at seven sites in Nova Scotia and Alberta. Test results have shown that under-registration errors as large as 28% are possible for some kVA demand meters.

[1]Visiting Research Officer.

A new computer-controlled ac calibrator for sinusoidal and distorted voltage, current, and power with parts per million (ppm) accuracy has been developed. Its high accuracy is achieved by using a current comparator technique combined with feedback and error-feedforward control strategy.

An international comparison of power meter calibration has been conducted between the National Research Council, Ottawa, the National Bureau of Standards, Gaithersburg, U.S.A., the Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Federal Republic of Germany, and the Institut Mihailo Pupin, Belgrade, Yugoslavia. The comparison has been implemented by means of a time-division multiplier watt converter developed at the Institut Mihailo Pupin. The measurements were made at 120 V, 5 A, 50 and 60 Hz, at power factors of 1.0, 0.5 lead and lag, and 0.0 lead and lag. An agreement between the laboratories of better than 25 ppm is indicated.

A prototype of a new standard time-division multiplier wattmeter has been built. Preliminary evaluation of the instrument has shown that it maintains an accuracy of 100 ppm for frequencies up to 1 kHz. Three of these wattmeters will be incorporated into the three-phase calibration system. Work is continuing to extend the frequency bandwidth of the instrument.

Electronically Aided Current Transformer

Work is continuing on extending the capabilities of the electronically aided current transformer to include a feature of being able to measure a dc component in the primary current.

Current-comparator-based Load Loss Standard

The main components of the load standard (see Fig. 1) have been completed and it has been used for *in situ* calibration of three different types of transformer loss measuring systems. Work is continuing on making the load standard more "portable" and user friendly.

25-Bit Multiplying Digital-to-analog Converter

The completed 25-bit multiplying digital-to-analog converter (MDAC) has been incorporated in the microprocessor-controlled current-comparator-based dc voltage calibrator. Work is continuing on software development for interfacing the calibrator with a computer through an IEEE-488 bus.

Root-mean-square Alternating Current/Direct Current Voltage Comparator

Work is continuing on improving the bandwidth of the root-mean-square ac/dc voltage comparator. A new semiconductor device is being evaluated as a replacement for the conventional multijunction thermal converter.

Calibrations

Thirty-seven test and calibration reports were issued by the group in 1987.

■ Impulse Voltage Measurements

■ T.R. McComb

International Research on Impulse Measuring Systems

Work in this area has been assigned to a formal Task Force of Conférence Internationale des Grands Réseaux Électriques à Haute Tension (CIGRE) WG 33.03. This Task Force on Response Parameters (convenor T.R. McComb) has continued the analysis of the data gathered in the previous stage of this work and has made recommendations to Working Group 7, Technical Committee 42 of the

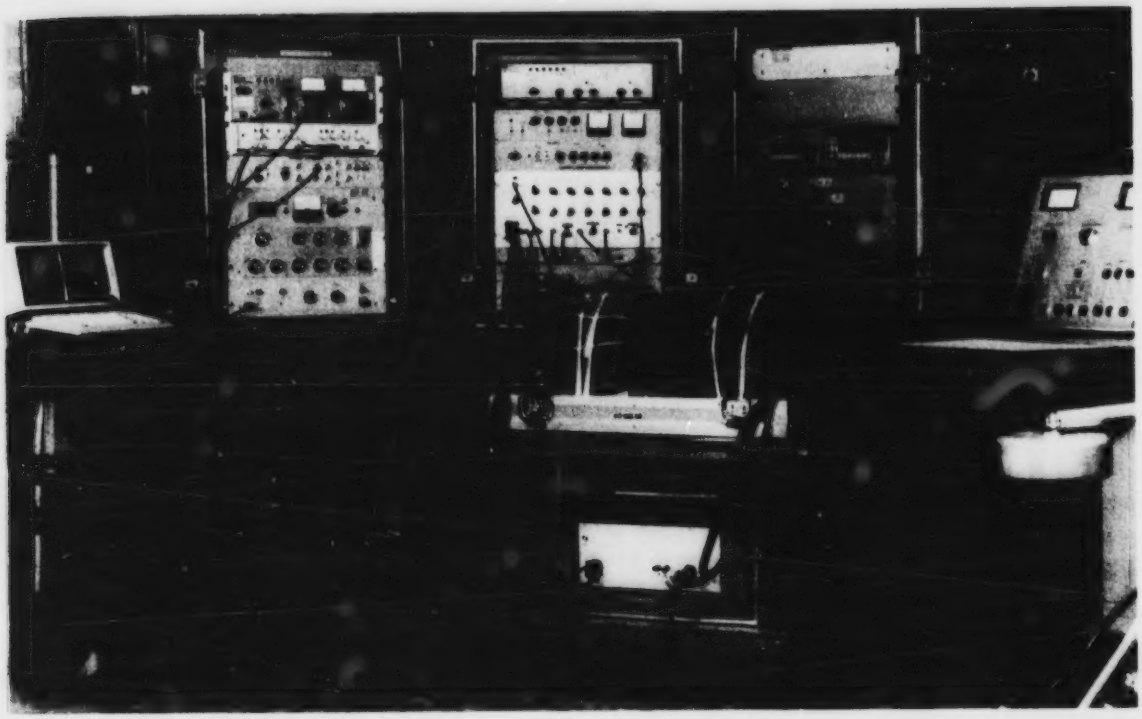


Figure 1 Current-comparator-based load loss standard.

International Electro-technical Commission (IEC/TC 42/WG 7) for incorporation in IEC Publication 60-3, *High Voltage Test Techniques. Part 3. Measuring Techniques.* Work has started to establish a suitable transfer standard for high voltage impulse measurements with contributions from the National Research Council, the National Physical Laboratory and the Central Electricity Research Laboratory, United Kingdom, and the Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Federal Republic of Germany. A range of transfer systems have been investigated and agreement to within 1% has been found for measurements of the crest voltages of full lightning impulses. Work is continuing to define a suitable transfer system for comparative measurements at 500 kV.

Use of Digital Recorders in High Voltage Laboratories

The cooperative project involving the Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ), Ontario Hydro Research, and NRC is continuing. Work has shifted to the application of digital signal processing and intelligent systems to a variety of measurement problems of importance to the power industry. An important new initiative, which is still in the planning stage, is the development of intelligent measuring systems capable of making high resolution measurements in a noisy environment for application to partial discharge measurements on site and estimation of the residual life of equipment.

Standards

Work is continuing on the revision of IEC Publication 60, *High Voltage Test Techniques*, with NRC participation in WG 7, Revision of IEC Publication 60-3 and 60-4, and WG 8, Digital Recorders.

The entire philosophy of Publication 60-3 has been revised and the document under preparation is based on qualifying measuring systems by comparative measurements against a reference system traceable to a National Standards Laboratory. The IEC draft standard on digital recorders has been revised and will likely be submitted to the October 1988 meeting of Technical Committee 42.

Contributions are being made to the IEEE Committee on Digital Techniques in Electrical Measurements (a Subcommittee of the Power System Instrumentation and Measurement Committee) and to the IEEE Committee on Waveform Measurement and Analysis. Studies of the dynamic performance of digital waveform recorders are being made.

Aid to Industry

In response to requests from industry, advice has been provided on reducing electromagnetic interference in a variety of prototype systems and on lightning protection.

Lightning Research

The National Research Council is participating in a Canadian Electrical Association project to measure lightning ground flash densities in Canada.

■ Electrical Insulation

■ R.J. Densley – A. Bulinski – S.S. Bamji

The research into aging and breakdown processes in high voltage polymeric cable insulation subjected to different stresses is continuing.

Insulation Operating in a Wet Environment

In the area of insulation aging in a wet environment, the research activities of the group were focused on three subjects: the role of oxidation in water treeing, the effect of temperature on water tree growth and final breakdown of the insulation, and the role of impurities in semiconducting cable shields in water tree initiation.

The role of oxidation in water treeing has been studied under a joint project with the Institut de recherche d'Hydro-Quebec (IREQ) and funded by the Electric Power Research Institute (EPRI). More than 100 specimens of field-aged cables from 11 American and 9 Canadian utilities were tested for their oxidative stability and the presence of water trees. The tests showed that cables from different locations can have significantly different oxidative characteristics but that most of the cables tested had reduced times to oxidation in the region close to the outer insulation surface. Insulation containing water trees has always shown lower oxidative stability as compared with non-treed insulation. This indicates that water treeing preferentially takes place in more oxidized regions of the insulation or that water treeing itself causes oxidation. These studies will continue on laboratory specimens and will concentrate on the effect of initial insulation oxidation on water tree initiation, growth, and final specimen breakdown.

The investigation of the effect of temperature on water tree growth and breakdown of polyethylene has revealed that temperature does not enhance the tree growth but does accelerate insulation breakdown. This finding is important for the proper selection of accelerated aging test conditions to evaluate new materials for their resistance to water treeing. High temperature is one of the major stresses

insulation is subjected to during service. Thus an understanding of its effects is crucial in evaluating reliability. More tests are planned to study the mechanism of the transition from a water tree to an electrical tree. Such a transition is regarded as the beginning of the final insulation breakdown. These studies will be partially funded by the CEA under a joint project with IREQ.

The third project, the effect of impurities in semiconducting insulation shields on the initiation of water trees, was undertaken to clarify the importance of the purity of semiconducting compounds used by the cable industry on the resistance of cable insulation to water treeing. Although the importance of the cleanliness of insulation compounds has been demonstrated and recognized for some time, the extent to which impurities in the semiconducting shields control the treeing process is not known and has been little studied. Preliminary tests showed that impurities molded into semiconducting electrodes can become initiation sites for water trees. More tests are planned to find preventative measures to lock the impurities within the semiconducting layer. If successful, this could also lead to mitigating the effect of impurities which normally enter the insulation from outside the cable via diffusion or some other processes.

Insulation Operating in a Dry Environment

The effect of photostabilizers on polymeric insulation, which emits ultraviolet radiation from localized regions of high electrical stress, was studied. It was shown that in degassed low density polyethylene (LDPE), containing a decreased concentration of oxygen, photostabilizers such as ultraviolet absorbers, hindered amine light stabilizers, and excited state quenchers prevent rapid photodegradation of the polymer. Earlier, it was found that impregnating the insulation with nitrogen gas increases the electrical tree inception voltage. N_2-impregnated and degassed LDPE, containing small amounts of photostabilizers, was shown to initiate trees after much longer time periods when held at the same voltage levels as samples without the stabilizers. However, photostabilizers were not very effective in LDPE containing the normal amount of oxygen in its free volume. This is because during voltage application and ultraviolet emission oxygen becomes excited or ionized. Singlet oxygen is also formed by the quenching of the triplet states by molecular oxygen. In addition, being an electronegative gas, oxygen will capture some of the injected electrons to form O_2^-, which is very reactive and causes rapid degradation of the polymer.

The temporal behavior of electroluminescence, prior to tree inception, was shown to be independent of whether the voltage was held at a constant level or interrupted several times. The luminescence started at about the same voltage and its intensity returned to the same level as before the interruption. This behavior was different to that of partial discharges which occur during tree growth. It was shown that since the insulation starts to degrade at voltages above the luminescence inception level, surge arrestors, used for protecting electrical equipment such as capacitors, transformers, and cables, should be designed to suppress lightning and switching surges to values below the threshold voltage of luminescence.

In the past, test methods developed to evaluate and compare the resistance of solid organic dielectric materials to electrical tree initiation did not take into account the importance of the cleanliness of the needle tips used in the tests or the interface formed between the needle and the polymer. Figure 2 shows micrographs, obtained with a scanning electron microscope (SEM), of needle tips before and after cleaning. Before cleaning the tip radius is sometimes deformed and the surface contaminated. Results of the effect of the sample preparation tests showed that inserting needles into hot or cold polymer usually damages the needle tips. Injection molding the polymer around the needle greatly decreases the probability of such damage and increases the reproducibility of the results.

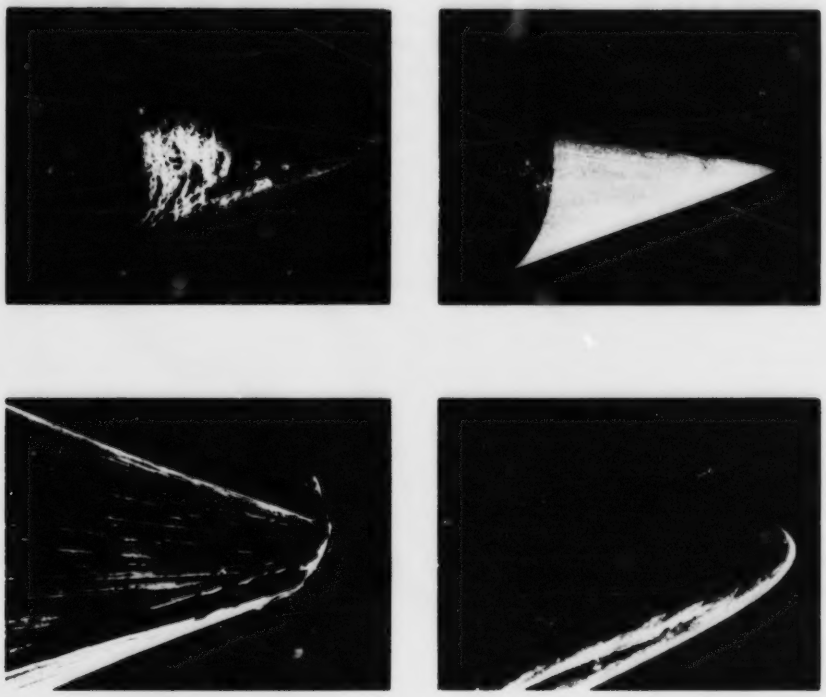


Figure 2 Scanning electron microscope pictures of a needle tip before and after cleaning.

■ Electromagnetic Interference/ Electromagnetic Compatibility

■ A.S. PODGORSKI – S. KASHYAP – M. KEKEZ

Electromagnetic Pulse Measurements

During the past year significant improvements in the development of electromagnetic pulse (EMP) measurement systems have been made. The response time of the coaxial measurement systems has been decreased to 150 ps from 500 ps, and should be decreased further to 75 ps within the next two years.

In addition, two fiber-optic measurement systems have been developed. The time responses of the fiber-optic measurement systems are 3 ns and 500 ps, respectively. It is expected that the time response can be decreased to 150 ps. During the last year, the development of a nanosecond system for measurement of EMP energy coupling into communication cables was concluded. The development of a large volume, dc to 2 GHz, time and frequency domain calibration facility is near completion. Work has also been started on the development of the frequency domain measurement facility for estimation of time domain transient responses of scaled models.

Electromagnetic Pulse Simulation

The overall objective is to develop a facility that can be used by Canadian industries for verification of EMI/EMC protection with a special emphasis on transient protection capabilities. Last year work began on the development of facilities capable of generating intense electromagnetic fields for simulation of lightning and nuclear electromagnetic pulses.

A small (1.3 m) threat level (100 kV/m) EMP simulator (see Fig. 3) was developed at NRC. Design verification was successfully performed on 300 and 600 kV subnanosecond pulse generators.

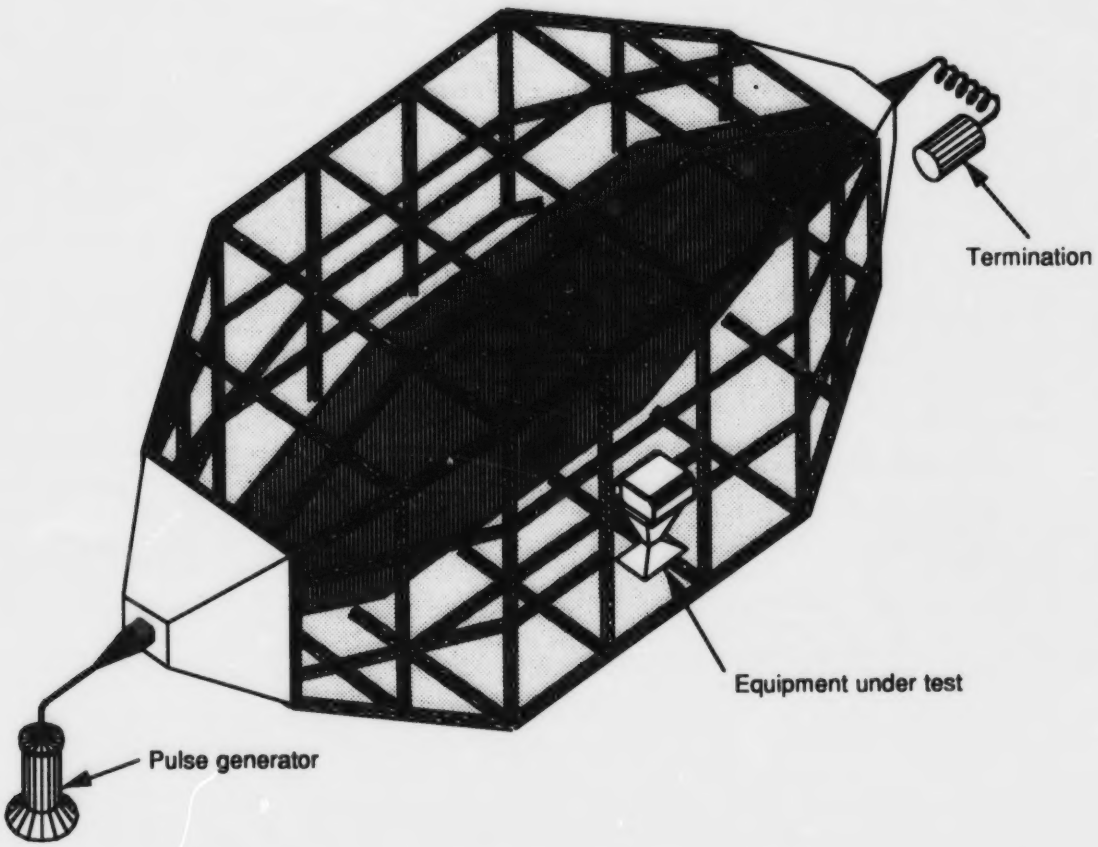


Figure 3 Nuclear electromagnetic pulse simulator.

RECENT PAPERS — POWER ENGINEERING SECTION

Published

- ☐ ALEXANDER, P.E., BULINSKI, A., CLAUSSEN, T.L., DAKIN, T.W., FORT, E.M., FOTHERGILL, J.C., GALPERN, H.N., LAWLESS, J.F., NELSON, W., STONE, G.C., VINCENT, G.A., WARD, B.E., AND WILKENS, W.D. IEEE Guide for the Statistical Analysis of Electrical Insulation Voltage Endurance Tests. American National Standards Institute/IEEE Standards 930-1987. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, NY. 1987.
- ☐ ARSENEAU, R., AND ZELLE, J. A parts per million accuracy instrument for ac voltage measurements. IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-36(2): 330–333; 1987. NRC 27707.
- ☐ BAMJI, S.S., BULINSKI, A.T., AND DENSLEY, R.J. The effect of photostabilisers on polymeric insulation used in high voltage cables. Proceedings of the European Symposium on Polymeric Materials, Lyon, France. September 14–18, 1987. pp. CB02, 1–5. NRC 28950.

- ☐ Bamji, S.S., Bulinski, A.T., and Densley, R.J. The role of N_2 impregnation and ultraviolet stabilisers in polymeric insulated high voltage cables. Proceedings of the Second International Conference on Polymer Insulated Power Cables, Versailles, France. September 21–25, 1987. pp. 214–217. NRC 28952.
- ☐ Bamji, S.S., Bulinski, A.T., and Densley, J.R. The effect of sample preparation on electrical tree resistance tests. Proceedings of the 1987 Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Gaithersburg, MD. October 18–22, 1987. pp. 425–431. NRC 28953.
- ☐ Bulinski, A.T., Bamji, S.S., Densley, J.R., and Au, C. Effect of temperature on the growth of vented water trees in laboratory molded polyethylene specimens. Proceedings of the 1987 Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Gaithersburg, MD. October 18–22, 1987. pp. 440–447. NRC 28954.
- ☐ Filipski, P. System for testing wattmeters under nonsinusoidal conditions. IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-36(2): 347–353; 1987. NRC 28533.
- ☐ Filipski, P. Errors of a time-division active power converter with a natural sampling pulse-width modulator. IEEE Trans. Power Delivery, PWRD-2(4): 1025–1029; 1987. NRC 26984.
- ☐ Filipski, P., and Arseneau, R. Discussion on "Sensitivity of electrical appliances to harmonics and fractional harmonics of the power system's voltage. Part II: Watthour meters and universal machines" by E.F. Fuchs, D.J. Roesler, and K.P. Kovacs. IEEE Trans. Power Delivery, PWRD-2(2): 452; 1987. NRC 28098.
- ☐ Garton, A., Bamji, S.S., Bulinski, A., and Densley, J. Oxidation and water tree formation in service aged XLPE cable insulation. IEEE Trans. Elect. Insul. EI-22(4): 405–412; 1987. NRC 27450.
- ☐ Kuffel, J., McComb, T.R., and Malewski, R. Comparative evaluation of computer methods for calculating the best fit sinusoidal to the digital record of a high purity sine wave. IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-36(2): 418–422; 1987. NRC 27449.
- ☐ McComb, T.R., Malewski, R., and Kuffel, J. Measuring characteristics of the fastest commercially-available digitizers. IEEE Trans. Power Delivery, PWRD-2(3): 661–670; 1987. NRC 26733.
- ☐ McComb, T.R., Kuffel, J., Malewski, R., and Sihon, K. Qualifying an impulse digitizer for measurements in HV impulse tests. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, New York, NY. Paper No. 88WM038-2, January 31 – February 5, 1988. NRC 28973.
- ☐ Moore, W.J.M., and Miljanic, P.N. The current comparator. IEEE Electrical Measurement Series 4, Peter Peregrinus Ltd., London, U.K. 1988. 120 pages.
- ☐ Podgorski, A.S. A case for a uniform lightning threat. Proceedings of International Aerospace and Ground Conference on Lightning and Static Electricity, Oklahoma City, OK. April 19–22, 1988. pp. 118–122. NRC 28981.
- ☐ Podgorski, A.S., and Landt, J.A. Three dimensional time domain modelling of lightning. IEEE Trans. Power Delivery, PWRD-2(3): 931–938; 1987. NRC 28975.
- ☐ Podgorski, A.S., and Podgorski, E.M. Lightning standards for protection of ground electronic systems. Proceedings of International Aerospace and Ground Conference on Lightning and Static Electricity, Oklahoma City, OK. April 19–22, 1988. pp. 324–327. NRC 28982.
- ☐ So, E. A microprocessor-controlled current-comparator-based dc voltage calibrator. IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-36 (2): 291–295; 1987. NRC 27705.
- ☐ So, E. A current-comparator-based load loss standard for in-situ calibration of transformer loss measuring systems. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, San Francisco, CA. July 12–17, 1987. Paper No. 87SM51-2. NRC 28968.
- ☐ So, E. A current-comparator-based wattmeter for high-voltage power measurements at very low power factors. IEEE Trans. Power Delivery, PRWD-2(4): 1018–1024; 1987. NRC 28967. (Summarized in IEEE Power Eng. Rev. PER-7(10): 37–38; 1987. NRC 28968.)

- ☐ So, E., and Train, D. In-situ calibration of three different types of transformer loss measuring systems using a current-comparator-based load loss standard. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, New York, NY. January 31 – February 5, 1988. Paper No. 88WM040-8. NRC 28969.

Presented

- ☐ Arseneau, R., and Filipski, P.S. Effects of harmonics on energy and VA demand measurements. Municipal Electric Association, Metering Section Annual Spring Conference, Ottawa, Ont. June 3, 1987.
- ☐ Arseneau, R., and Filipski, P.S. Application of a three phase nonsinusoidal calibration system for testing energy and demand meters under simulated field conditions. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, San Francisco, CA. July 12–17, 1987.
- ☐ Arseneau, R., and Filipski, P.S. Optimum metering systems for loads with high harmonic distortion. Canadian Electrical Association Electrical Coordination Section, Metering Section, Engineering and Operating Division, Edmonton, Alta. October 1987.
- ☐ Bamji, S., Bulinski, A., and Densley, J. A new mechanism of degradation in polymeric insulation subjected to high voltage. Corona Research Group (Cage Club), Carleton University, Ottawa, Ont. May 11–12, 1987.
- ☐ Bamji, S., Bulinski, A., and Densley, J. Effect of temperature on water tree growth. Corona Research Group (Cage Club), Carleton University, Ottawa, Ont. May 11–12, 1987.
- ☐ Densley, J.R. Water treeing in polymeric cable insulation. CIL Inc., Brampton, Ont. May 27, 1987.
- ☐ Densley, J.R. Accelerated aging of polymeric-insulated distribution cables. WG12-35 of IEEE ICC Meeting, St. Petersburg, FL. November 9, 1987.
- ☐ Densley, J.R. Cable research activities of the CEA. Subcommittee No. 13 of IEEE ICC Meeting, St. Petersburg, FL. November 10, 1987.
- ☐ Densley, J.R. The deterioration of polymeric insulation by electric stress and moisture. CIL Inc., Brampton, Ont. November 24, 1987.
- ☐ Filipski, P.S. Accuracy of three phase energy and VA demand meters under distorted waveform conditions. Canadian Electrical Association Distribution Section, St. John, N.B. September 1987.
- ☐ Filipski, P.S. Analogue and digital wattmeters and watthour meters. Panel discussion on "Effects of Voltage and Current Distortion on the Performance of Metering Instrumentation in Power Systems," IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, New York, NY. January 31 – February 5, 1988.
- ☐ Hughes, R.C., McComb, T.R., and Schon, K. Intercomparison of impulse measuring systems at NRC, PTB and CERL. CIGRE WG 33.03, Beijing, China. October 1987.
- ☐ McComb, T.R. Application of digitizers to monitoring high voltage impulse tests. CIGRE Seminar on High Voltage Test and Measuring Techniques, Beijing, China. October 1987. (Invited.)
- ☐ McComb, T.R. Comparative measurements based on NRC's resistor dividers. CIGRE WG 33.03, Beijing, China. October 1987.
- ☐ McComb, T.R. Report of the task force on response parameters. CIGRE WG 33.03, Beijing, China. October 1987.
- ☐ McComb, T.R., and Kuffel, J. Measurement of fast linearly-rising impulses. CIGRE WG 33.03, Beijing, China. October 1987.
- ☐ McComb, T.R., and Kuffel, J. Puncture tests of insulators. CIGRE WG 33.03, Beijing, China. October 1987.
- ☐ McComb, T.R. Methods of evaluating the accuracy of measuring systems for fast transient voltages. CIGRE SC 33 Colloquim, Tokyo, Japan. October 1987.
- ☐ McComb, T.R., and Malewski, R. Technical basis of the IEC/IEEE standard on digital recorders for measurements in HV impulse tests. Corona Research Group (Cage Club), Carleton University, Ottawa, Ont. May 11–12, 1987.

- ☐ McComb, T.R., Kuffel, J., Malewski, R., and Schon, K. Qualifying an impulse digitizer for measurements in HV impulse tests. CIGRE WG 33.03, Beijing, China. October 1987.
- ☐ Miljanic, P.M., Moore, W.J.M., and So, E. State-of-the-art technology of ac power and energy measurements. Federal Institute of Weights and Measures, Belgrade, Yugoslavia. June 9, 1987. (Invited.)
- ☐ So, E. A current-comparator-based 25-bit multiplying digital-to-analog converter. Proceedings of the IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC 87), April 27–29, 1987. p. 282. NRC 28966. (Summary paper.)
- ☐ So, E. High voltage power measurements at very low power factors. HOLEC HH, Hengelo, The Netherlands. June 17, 1987.

Patent

- ☐ So, E., and Moore, W.J.M. Digital-to-analog converter. U.S. Patent No. 4,638,302. Issued January 20, 1987.

RECENT PAPERS — ELECTROMAGNETIC ENGINEERING SECTION

Published

- ☐ Antar, Y.M.M., and Allan, L.E. Polarization characteristics of backscatter from finite dielectric cylinders in the resonance region. Proceedings of IEEE Antennas and Propagation Society 1987 Meeting, Blacksburg, VA. June 15–19, 1987. Vol. II, pp. 968–971. NRC 27968.
- ☐ Antar, Y.M.M., and Hendry, A. Correlation techniques in two-channel linearly polarized radar systems. Electromagnetics, 7(1): 17–27; 1987. NRC 27436.
- ☐ Antar, Y.M.M., Allan, L.E., and Holt, A.R. Backscattering matrix of dielectric objects at 9.6 GHz. Electron. Lett. 23(19): 996–997; 1987. NRC 28316.
- ☐ Antar, Y.M.M., Allan, L.E., and Mishra, S.R. Radar cross-section and scattering matrix measurements on microwave navigation targets. Proceedings of the Meeting of Antenna Measurement Techniques Association, AMTA '87, Seattle, WA. September 28 – October 2, 1987. pp. 147–150. NRC 28096.
- ☐ Ayer, J. Measurement of dielectric constant at rf and microwave frequencies. RF Design, 10(4): 44–47; 1987. NRC 29177.
- ☐ Karam, M.A., Fung, A.K., and Antar, Y.M.M. Scattering models for some vegetation samples. Proceedings of the IGARSS '87 Symposium, Ann Arbor, MI. May 18–19, 1987. NRC 27970.
- ☐ Kashyap, S. Radiation pattern distortions in an absorbed-lined chamber. Proceedings of the 1987 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Atlanta, GA. August 25–27, 1987. pp. 62–66.
- ☐ Kashyap, S., and Mishra, S.R. Antenna factor measurement. Proceedings of the International Conference on EM Interference and Compatibility (INCEMIC), Bangalore, India. September 10–11, 1987. pp. 89–93. NRC 29178.
- ☐ Kishk, A.A., Antar, Y.M.M., Shafai, L., and Allan, L.E. Comparison between experimental and numerical results of electromagnetic scattering from lossy dielectric objects. Proceedings of IEEE Antennas and Propagation Society 1987 Meeting, Blacksburg, VA. June 15–19, 1987. Vol. II, pp. 1122–1125. NRC 27969.
- ☐ Mishra, S.R., and Kashyap, S.C. A multipurpose EM field measurement and antenna calibration facility. IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-36A: 1010–1014; 1987.
- ☐ Mishra, S.R., and Kashyap, S.C. Measurement of E.M. field distribution in an absorber lined chamber. Proceedings of the 7th International Zurich Symposium on EMC, Zurich, Switzerland. March 3–5, 1987. pp. 115–120. NRC 29179.
- ☐ Mishra, S.R., and Kashyap, S.C. A multipurpose EM field measurement and antenna calibration facility. Proceedings of the IEEE IMTC Conference, Boston, MA. April 27–29, 1987. pp. 51–54. NRC 29180.

- ☐ MISHRA, S.R., AND KASHYAP, S. Measured field of a biconical antenna in an absorber lined chamber. Proceedings of the International Conference on EM Interference and Compatibility (INCEMIC), Bangalore, India. September 10–11, 1987. pp. 83–87. NRC 29181.
- ☐ MISHRA, S.R., AND PAVLASEK, T.J.F. Morphology of E.M. field scattered by absorber material and walls of absorber lined chambers. IEEE APSoc/AMTA Workshop on Absorber Material and Anechoic Chambers, Blacksburg, VA. June 1987. In press. NRC 29182.
- ☐ PAVLASEK, T.J.F., AND MISHRA, S.R. Ground plane influence on EMC measurements. Proceedings of the International Zurich Symposium on EMC, Zurich, Switzerland. March 3–5, 1987. pp. 353–358. NRC 29183.
- ☐ WYSLOUZIL, W., KASHYAP, S., AND DAIEN, D.M. Heating patterns for an array of 915 MHz rectangular waveguide applicators. J. Microwave Power Electromagn. Eng. 22(4): 213–220; 1987.

Presented

- ☐ ANTAR, Y.M.M. Radio wave propagation characteristics in precipitation as determined by radar. 1987 URSI Radio Science Meeting, Blacksburg, VA. June 15–19, 1987.

Patent

- ☐ WYSLOUZIL, W., AND KASHYAP, S.C. Apparatus for heating granular materials. Can. Patent No. 1,234,877. Issued April 5, 1988.

LABORATORY FOR INTELLIGENT SYSTEMS

Laboratory Head — M.M.C. Collins

■ Objective

- To provide, through applied research and collaboration with Canadian industry and universities, intelligent systems technology which will make Canadian industry more competitive in the emerging fields of sensor-based robotics and knowledge-based systems.

Sub-objectives

- To develop and demonstrate computing and sensor technologies that will provide a foundation for building autonomous systems.
- To acquire and develop computer-based technology for the creation of advanced information systems that provide for the representation, acquisition, and processing of knowledge.
- To encourage industrial exploitation of advanced computer technologies by creating, stimulating, and promoting opportunities for their applications.

■ Program Description

Advanced automation technology requires machines which are able to adapt their behavior in response to a changing environment and to changing task demands. Technical advances rely upon the three major areas of perception (or sensors), decision, and control, each being actively investigated by the Laboratory. These component technologies will be integrated into intelligent functioning systems through the techniques of applied artificial intelligence.

The major responsibility for the applied artificial intelligence activity is concentrated in the Information Technology Section. This effort is at an early stage of its development and is emphasizing the recruitment and training of staff as well as the creation of an infrastructure in which to perform applied research in the area of knowledge-based systems. Currently, the Section is collaborating with industry, universities, and other government departments on four application oriented projects. The intelligent advisor project provides a user with advice tailored specifically to his immediate goals in an interactive computer environment. The medical discovery learning project will provide a system for automating discovery learning from large medical databases while the risk analysis expert system project is designing a customized expert system shell for applications in medical device risk analysis. The diagnostic expert system project is applying expert system technology to engine health monitoring.

Work on sensor development is being pursued in the Photonics and Sensors Section and has concentrated upon opto-electronic techniques for three-dimensional measurements. One method is based on triangulation and exploits the technique of synchronized scanning for superior performance. This system has generated strong industrial interest and is being commercialized by two Canadian companies. A technique which is based upon a dual aperture camera in which defocusing provides a measure of range is now being perfected. Related work in integrated optics for sensor development and high speed processing has produced devices for electric field measurement and mechanical strain measurements.

The area of sensor-based robotics is being pursued in the Computing Technology Section. The techniques of 3-D measurement are being adapted and demonstrated in robot control with emphasis on a wrist-mounted camera. Central to the work on the advanced robot controller is the realtime multiprocessor operating system Harmony.[1] Now nearing maturity, Harmony has drawn much interest

[1]Mark reserved for the exclusive use of Her Majesty the Queen in right of Canada by Canadian Patents and Development Ltd.

among developers of embedded computer systems for industrial automation. As a result of a formal invitation for proposal to Canadian companies, P-Can Research Inc. has been selected to commercialize and support Harmony. Knowledge-based techniques and artificial intelligence methodology are being used in path planning for collision avoidance and in high-level task specification both in the robotics project and for an autonomous mobile platform for health care applications.

The Robotics and Automation Section in Winnipeg is devoted to working with industrial partners in the areas of sensor-based robotics, computer-aided production and inspection, and knowledge-based systems. Fourteen joint projects are now underway or have firm agreement.

Future Directions and Priorities

- Achieve recognition as a national laboratory in the field of applied artificial intelligence through the successful completion of technically challenging projects.
- Develop a demonstration prototype of the Intelligent Advisor System.
- Collaborate with P-Can Research Inc. to commercialize the Harmony Operating System.
- Apply multiprocessing architecture to developments for industrial realtime control.
- Demonstrate 3-D vision for robot control in industrial applications and in the space station program.
- Continue development of 3-D measuring techniques and algorithms for 3-D image interpretation.
- Undertake exploratory work in nonlinear materials to be used in integrated optics, optical processing, and optical sensors.
- Develop an intelligent mobile platform for health care applications.
- Continue to develop joint NRC–Industry projects at the CIIT in Winnipeg.

Clients and Collaborators

The principal goal in this Laboratory is development of techniques which are a generation ahead of current technology. External input from clientele is essential in developing a consensus on future needs and opportunities, with the direction of the research guided by strategic and generic needs. Technology development requirements that have been highlighted by an advanced technology committee for the Canadian space station project are emphasized. The success of these laboratory initiatives has been demonstrated by interest and participation of Canadian firms, other government departments, and universities.

The exploitation of leading-edge robotics, automation, and AI technology in Canadian industry takes place in collaboration with all Sections of the Laboratory, but is the major focus of the Robotics and Automation Section in Winnipeg.

Key Events

- Selection of P-Can Research Inc. to commercialize the distribution, maintenance, and support of the Harmony realtime operating system.
- Development of a first-generation electric field sensor for aircraft lightning detection within the Co-op Tech Program with Canadian Marconi Company.
- Formal agreements signed with: University of Ottawa on development of photonic components for electric field sensor, MacDonald Dettwiler and Associates Ltd. and Simon Fraser University on development of a solid state blue laser by frequency doubling, McGill University for enhancing the profile scanner for robot vision, and Laval University for collaboration on artificial intelligence.

- The establishment of 14 joint NRC–Industry projects at the CIIT in Winnipeg.
- Initiation of a joint project with the Laboratory for Biomedical Engineering to develop an autonomous mobile robot for health and home care applications.
- Agreement with Price Waterhouse for collaboration in the development of the Intelligent Advisor System.
- Agreement of cooperation with Spar Aerospace Limited to develop application of range camera for robot vision in the space station environment.
- Demonstration of a high accuracy, adjustable depth of field 3-D laser scanner.
- Release 3.0 of Harmony in January 1988.
- Construction of a prototype high speed 3-D laser scanner for printed circuit board inspection.
- Use of the report *M* — A Methodology for Information Systems Analysis and Database Design in Production Environments* in courses at three Canadian universities.
- Demonstration of 3-D texture integration to range images.
- Port of Harmony to VME/68020 target and to a Macintosh-based development support environment completed.
- Peer recognition: S. El-Hakim received the V Talbert Abrams Grand Award for two papers which appeared in *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.*

COMPUTING TECHNOLOGY SECTION

Section Head — N. Burtnyk

■ Introduction

The research activities of the Computing Technology Section are directed at our longer-term goal of advanced autonomous systems. These activities are being pursued in three complementary areas: multiprocessor architectures for realtime computing, sensor-based robotics, and computer vision. Research progress reported below should be referenced to the report in the previous *Bulletin of the Division of Electrical Engineering* (Vol. 3, No. 1).

The work on multiprocessor architectures for realtime computing emphasizes the development and application of the Harmony Operating System. A recent major effort has been towards the incorporation of all major enhancements into Release 3.0.

Laboratory work in robotics exploits the Harmony multiprocessor architecture to provide an advanced computing environment for intelligent system control. The development of sensory function is centered on a wrist-mounted profile scanner for robot vision. Included in this project is work on spatial modeling, path planning, and high-level task specification.

The effort in computer vision emphasizes processing techniques for the interpretation of range data images for three-dimensional object recognition.

■ Multiprocessor Architectures for Realtime Control

■ W.M. GENTLEMAN – D.A. GREEN – S.A. MACKAY – R.K. PARR – D.A. STEWART – M. WEIN

The Harmony Operating System

Work has continued on Harmony, a multitasking multiprocessor portable operating system for realtime computing. This section summarizes the effort to enhance Harmony. Applications based on Harmony are reported separately in the *Bulletin*. It should be noted that Harmony is the basis for several projects at the University of Waterloo and at Carleton University and has been distributed to over a dozen industrial users who are evaluating its potential in new products and to an equal number of university laboratories for use in a research environment. In addition to several licensed industrial products already on the market that incorporate Harmony, the full commercialization of Harmony, which includes distribution, maintenance, support, and ongoing development, has recently been initiated. A manual describing the Harmony Operating System is available from the authors.

Development Environment

The development environment for Harmony was moved from a time-shared VAX minicomputer to a network of personal workstations, in order to achieve better coupling between the development system and the target system. As well, there was interest in gaining significant experience in using a network of truly personal workstations, both for development of Harmony and its application and for general productivity support. It was also desired to use low cost commercially available software from many suppliers, so that each workstation could have many tools (compilers, editors, word processors, drawing and illustration tools) at a reasonable cost and tailored to the individual user's needs.

The development environment selected is a network of Macintosh computers (a mixture of the Plus, SE, and II models). The rationale for this choice of development system has proven to be correct,

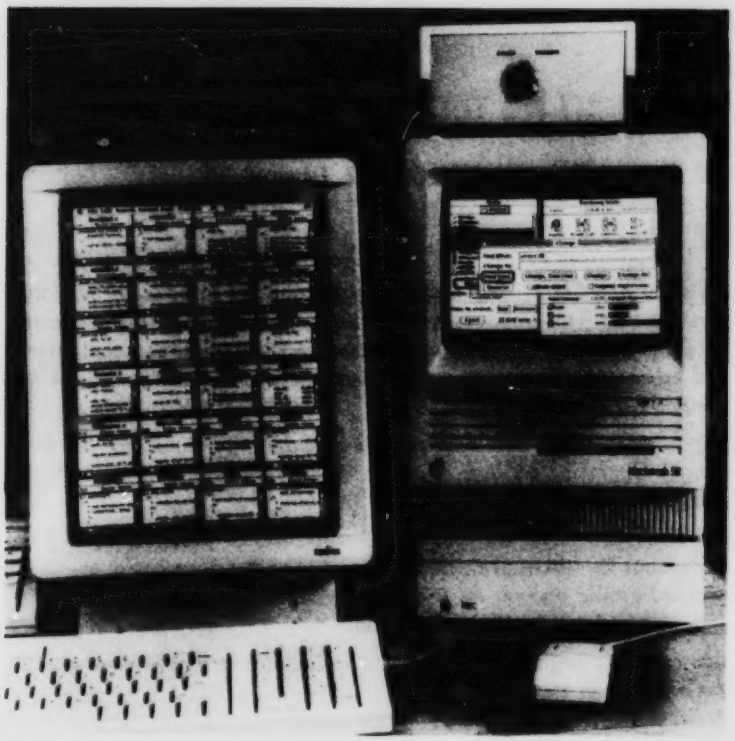


Figure 1 Full page display being used for 24 open files, while the control windows are on the small screen.

in that the development environment is rich and offers a good visual interface. Two members of the development team have enhanced their workstations by the addition of full-page screens, shown in Fig. 1. Typically, the large screen is used for editor document windows and the small screen is used for control windows.

The primary commercial software components on each development machine are the Consulair MacC$^{\Phi}$ compiler, QUED/M(Macro)$^{\Phi}$ program editor, MacServe$^{\Phi}$ network-based distributed file system, inTalk$^{\Phi}$ virtual terminal program, and a set of general purpose packages. Another licensed program that is being used is the UWΦ multiwindow terminal emulator, distributed free by its author, John Brunner from Lawrence Livermore National Laboratory.

Progress was achieved in developing and porting Harmony tools to run in the Macintosh environment. A new utility, Fixaddr, was written to convert the binary images of executable programs from the Macintosh format to the more common Unix format, which is used by the other tools — Bound, Examine, and Makemsr. The Macintosh runtime system uses position-independent code that is segmented into at most 32K blocks. This format is produced by all the linkers on the Macintosh. Fixaddr translates the image into the more conventional unsegmented format.

The other tools — Bound, Examine, and Makemsr — have also been updated to run on the Macintosh. Figure 2 shows a combination of debugging tools, Examine, the editor, and the virtual terminal monitoring execution on the run-time system.

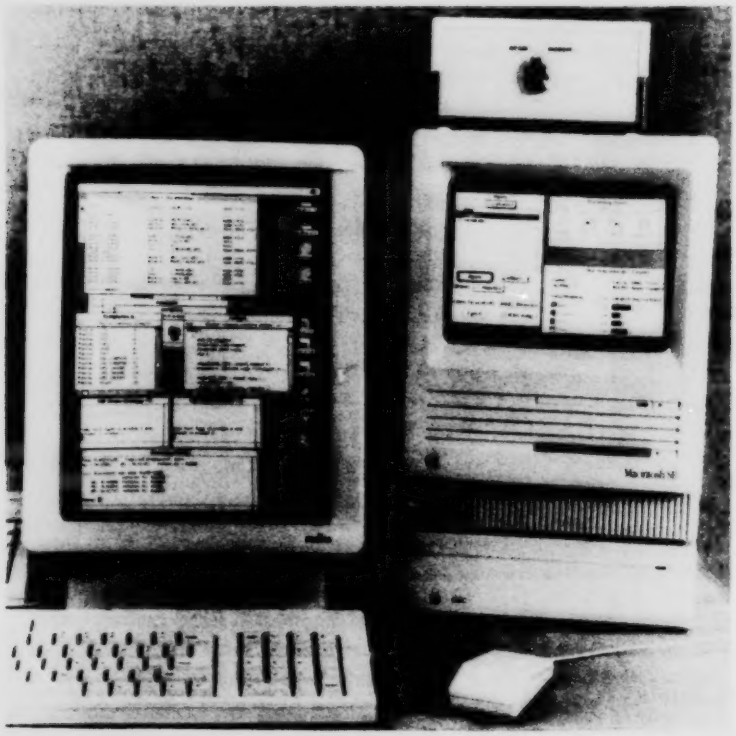


Figure 2 A combination of debugging tools. "Examine" window is at the top, then two source text windows, with the multiwindows terminal emulator at the bottom.

Harmony Porting

Harmony was ported to Motorola MC68020-based VMEbus processors. In particular, the DVME-134 processor boards from DY-4 Systems Inc. are used in current applications. This version of Harmony is integrated into the Harmony source tree and it is distinct from the version available from DY-4 for the same board. Custom boot ROMs had to be prepared for these processors to support the synchronized startup of multiple processors running Harmony. The new boot ROM includes support for downloading using the XMODEM protocol as well as the conventional Motorola S-records. The use of XMODEM reduces the development cycle (compile/link/convert/download over a serial line) by as much as 50%. Not only is XMODEM downloading much faster, but also the step of converting to S-records is eliminated.

Harmony was also ported to the Atari ST microcomputer (as a uniprocessor target). The objective was to implement an inexpensive and easily accessible system for exploring and evaluating Harmony, as well as for debugging when a uniprocessor system is adequate. A realistic evaluation system must have separate development and target systems. This one consists of a Macintosh development host (with Mac-based compilers, linkers, and tools) and an Atari 520ST as the runtime target (Fig. 3). The main distinguishing feature of the Atari is that it is the lowest cost readily available system using the Motorola MC68000 processor.

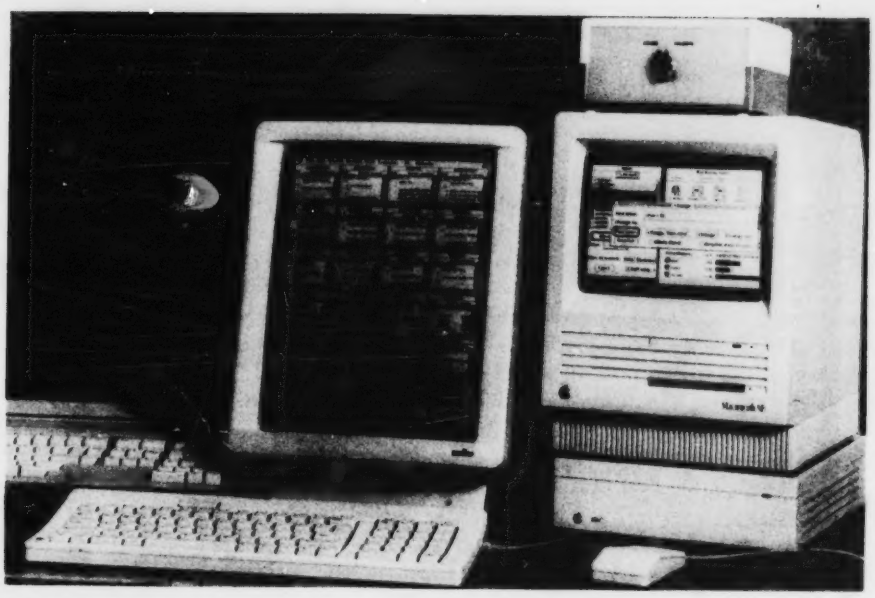


Figure 3 Development system on the right and the low-cost target runtime system (Atari 520ST) on the left.

New VME Target Processors

Over the past year efforts have continued to encourage the acceptance of the Harmony Operating System by attempting to identify additional commercial processor boards that can directly support Harmony. Of particular interest are the board products from Io Incorporated, which have been recently evaluated, and the announcement from FORCE Computers of a custom VME interface chip, which appears to offer exactly those features required by Harmony that most manufacturers have failed to provide in the past.

Multi-device Emulator

The multi-device emulator for implementing industrial operator consoles was reported last year. The software was evaluated in the past year and an enhanced version has been defined. One of the changes is a redefinition of the protocol between the Harmony system and the MDE program. The enhanced version is being implemented by Microstar Software Ltd. under contract to the Laboratory.

Harmony Enhancements

Recent enhancements to Harmony include:

- The TCP/IP communications server is being rewritten in order to permit the coexistence on one Ethernet board of TCP/IP and MAP protocols. This step is essential to an eventual implementation of the MAP protocol.
- A server was written to function with the UW multiwindow terminal emulator. Harmony tasks can open connections to windows on the Macintosh screen. Each window is a standard ASCII terminal. The multiwindow terminal software permits more flexible debugging of applications, without the need for separate terminals.

- The serial driver was rewritten to function as a finite state machine with the specific goal of responding to XON/XOFF flow control characters in one character period at all speeds up to 19 200 baud. The new version meets this target.
- As a result of experience gained while porting to new target and development environments, the Harmony source tree (system, examples, and tools) is being restructured, in order to simplify its structure, reduce the amount of duplicated code, and improve portability. Minor changes are also being made to the code for Harmony to improve its portability.

■ Sensor-based Robotics

Robot Control

Harmony-based Robot Controller ■ S. ELGAZZAR – D.A. GREEN – D.H. O'HARA

A new robot controller for the PUMA 560 (MARK 1) has been designed and its implementation is near completion. The functional requirements include: ease of sensor integration, realtime response, portability to different manipulators, and extensibility to new functions or multiple manipulators. These requirements are met through the use of the Harmony Operating System and multiprocessor hardware. Significant improvement in performance is achieved through concurrent processing. The software is written in the programming language C and is modular, thus allowing robot dependent modules to be easily replaced.

The modules are organized in a hierarchical architecture, shown in Fig. 4. The lowest level is the servo control level/arm interface level. The functionality provided at this level includes initialization of the servo-loop gains, angle-encoder transformations, read/write access to single joints or to all six joints, interrogation of the arm status, and safety limit checking.

The intermediate level is called the set point generator level. Included at this level are the kinematics of the robot, joint interpolated motion between two positions in Cartesian or joint space, straight line motion between two locations in Cartesian space, and continuous path mode to produce smooth transition between adjacent motion segments.

The path planning level is the highest level implemented in the controller. It is divided into two modes: the manual mode and the computer mode. The manual mode is an interactive mode, a keyboard emulation of the teach pendant. In this mode one can calibrate the arm, change the speed of motion, move single joints, create/edit/delete locations and directories, and move between locations.

In the computer mode, "user programs" can be executed. A user program consists of some definitions of locations and transformations, and the specification of motions, implemented as function calls, needed for the robot to accomplish its task. Most of the capabilities needed at this and the intermediate levels are provided by a research software package called RCCL (Robot Control C Library), which is being connected as the computer mode. Sensory interaction through different types of transforms is provided by RCCL.

During the course of this development, both the target hardware and the software development environment have been upgraded. The rapid evolution of microprocessors and system buses offering improved performance has led, in the past year, to the transfer of the robot controller onto new hardware using the VMEbus and MC68020 processor boards. The VMEbus is a widely accepted commercial product that better supports the advanced features of the MC68020 microprocessor than do earlier buses. As a result, the hardware interface to the PUMA robot was redesigned for the VMEbus and the software interface library revised. In addition, the transfer of the software development environment for Harmony applications to Macintosh workstations created many unexpected problems that had to be identified and resolved, particularly in the RCCL portion of the robot controller.

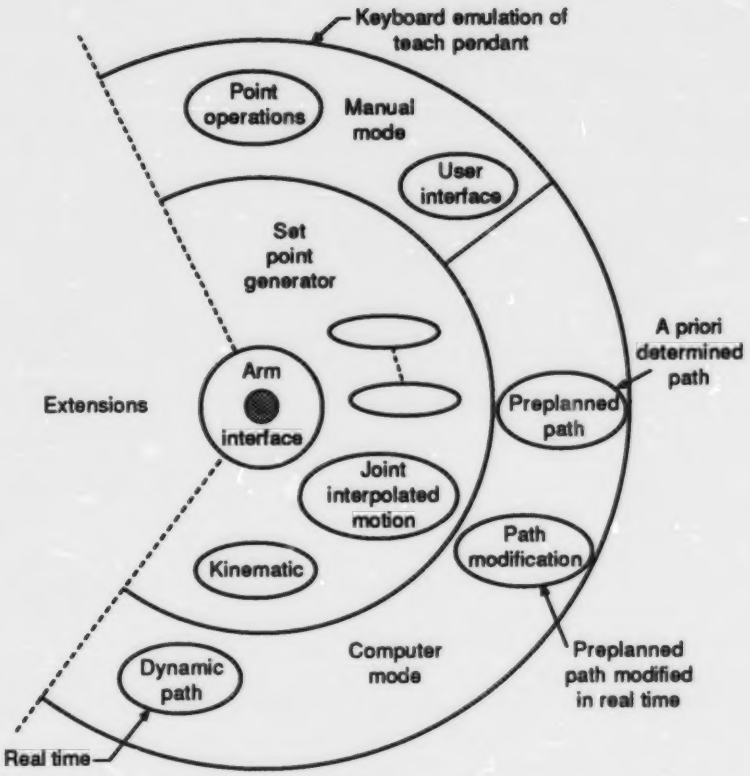


Figure 4 Software functionality of the robot controller.

P-Can Robot Controller ■ D.A. GREEN

Last year, the initiation of a collaborative project with P-Can Research Inc. to assist in the development of a Harmony-based controller for a commercial robot was reported. The company was unable to actively pursue this project last year, but hopes to be able to proceed in the near future.

Robot Vision

Wrist-mounted Profile Scanner ■ G. BECHTHOLD – S. AMID[1]

A dual head profile scanner has been developed as an extension of the original single head design. The new scanner is comprised of two heads mounted perpendicular to each other, thus providing a crossed scan pattern. The outputs of the two heads are multiplexed and processed in a common set of electronics similar to that used for the single head. This unit has been completed and has undergone checkout.

The calibration facility mentioned in the previous *Bulletin* has been completed and was used for preliminary calibration. Development of calibration software is continuing.

The data link between the scanner and the Harmony system has been improved through the use of

[1]Guest worker.

new hardware drivers. As a result of this upgrade, revised and expanded interface software has been written to communicate with both the Harmony and the calibration and test AT computer systems.

In collaboration with an engineer from McGill University, work is underway to develop a multi-scan version of the camera, which will be capable of providing a selected set of parallel range profiles under program control without moving the camera. An additional enhancement of the new design will be dynamic control of an attenuator in the transmitted light path. This will assist in compensating for the variation in reflected light due to a variety of target surface characteristics, changing distances to the target, and intensity fall-off inherent in the scanner design at the ends of the scan.

The design of the main electronic control circuitry for these scanners has now been stabilized so the circuit is being entered on a CAD workstation for the production of a printed circuit board. As part of the design, the computer bus/backplane is being changed from Multi-Bus to VMEbus to remain compatible with the Harmony multiprocessor computing systems used in our experimental research facilities.

Collaboration with Servo-Robot Inc. in commercializing the original design continues.

Parts Acquisition using the Profile Scanner ■ G. ROTH

Use of the profile scanner mounted on the robot wrist to acquire parts from a heap (bin-picking) was reported in the previous *Bulletin*. The computing environment for this experiment included a LISP machine as well as a Harmony system. Though the system worked well, it was necessary to show how it would perform on the Harmony system alone to demonstrate practicality.

For this reason, the spatial planning algorithms that compute the holdsite were rewritten from LISP into C and a number of timing tests were carried out. This rewriting improved the running time of the algorithms by an order of magnitude; the processing of the range data can be accomplished in about 1 s and the intensity data can be processed in about 5 s. This shows that the only bottleneck remaining is the actual time it takes to collect the range data.

Processing Single Range Profiles ■ C. ARCHIBALD – C. MERRITT – B. TRETHEWEY[1]

Interpretation of a single 3-D profile from the wrist-mounted range camera permits its use in a search mode and in applications such as tracking. Extraction of information from single profiles must be both fast, to maintain the realtime criteria, and robust, to avoid erroneous interpretations. This type of data interpretation is different from more traditional image processing because evidence must be accumulated from successive scans very rapidly, as opposed to lengthy processing of an entire image. Several operators have been used to process the profile scans including Sobel, first derivative, morphological erosion and dilation, and 1-D convolution. Profiles are combined using addition and subtraction. Details of this project can be found in ref. 1.

A realtime 3-D optical feedback system for robot control has been implemented using the range finder with a three-processor Harmony system. This allows the study of realtime feedback control of the six-axis robot and demonstration of the capability of the range finder combined with an appropriate architecture for intelligent robot control. To date, tracking with 2 degrees of freedom has been implemented, and experiments for 3 and 4 degrees of freedom have been designed for implementation in 1988 (2).

References

1. Archibald, C. Processing single range profiles from a wrist-mounted laser range finder. Proceedings of Vision Interface '88, Edmonton, Alberta. June 6–10, 1988. In press. NRC 28979.
2. Archibald, C., Gentleman, W.M., and O'Hara, D.H. Real time feedback control using a laser range finder and Harmony. Proceedings of 7th Canadian CAD/CAM and Robotics Conference and Exposition, Toronto, Ontario. June 14–16, 1988. pp. 56–62. NRC 28978.

[1]Student.

Object Pose Determination
Using Sparse Range Data

■ C. MERRITT – C. ARCHIBALD – B. TRETHEWEY[1]

Experiments in conjunction with Spar Aerospace Limited to assess the applicability of the wrist-mounted laser range finder in space station activity began late in 1987. The problem being addressed is to determine the pose of a known object in space, namely a satellite grapple fixture, using the laser range finder technology. Figure 5 shows the laser range finder scanning the satellite grapple fixture. Figure 6 is a CAD model showing the structural components of the grapple fixture.

A procedural strategy for doing this has been devised and partially implemented. It appears that 10 range profiles are adequate for determining the pose of the grapple fixture. Problems arise when specific scans or surfels (surface elements) are used to definitively guide further processing. This is due to occasional erroneous data. Robust algorithms that exhibit the property of using as much of the data as possible in every stage are required. Algorithms are being investigated that perform a correlation between the sparse image and a mask that represents some interesting features of the grapple fixture. Figure 7 shows a sparse range image of the grapple fixture with 10 range profiles.

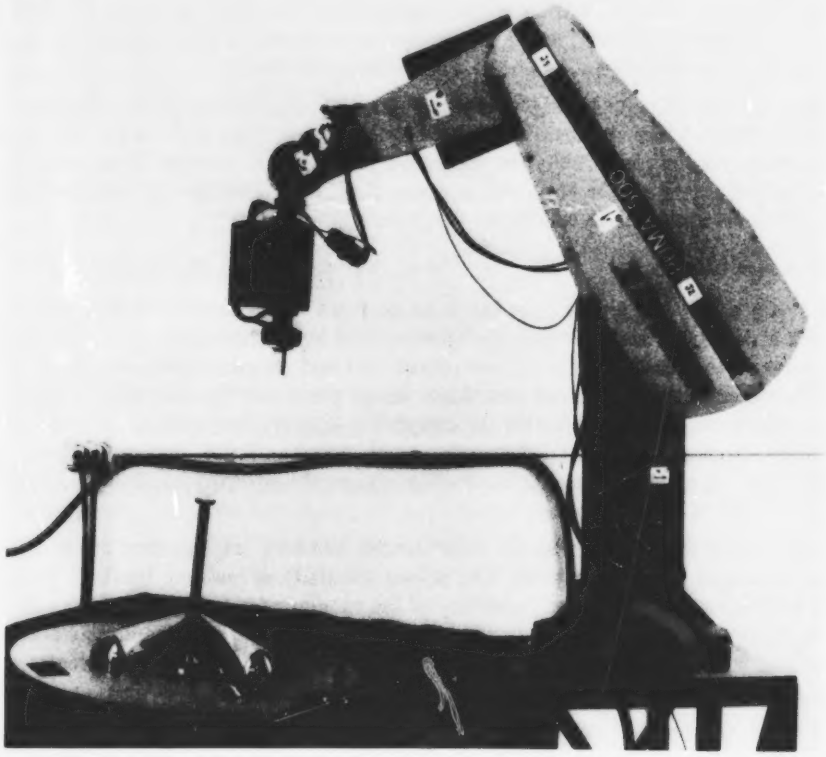


Figure 5 Satellite grapple fixture being scanned by laser range finder.

[1]Student.

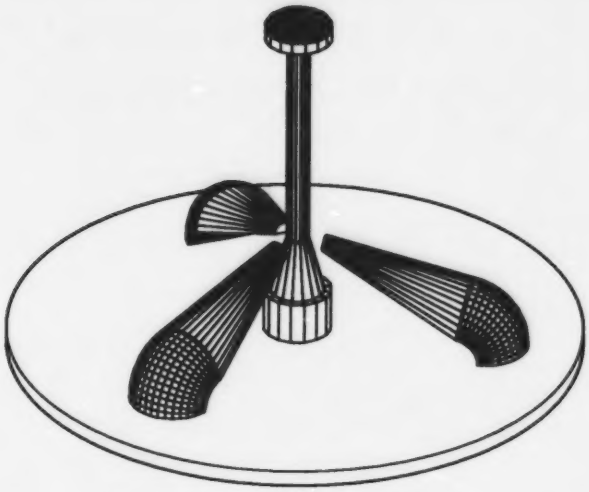


Figure 6 CAD model of grapple fixture.

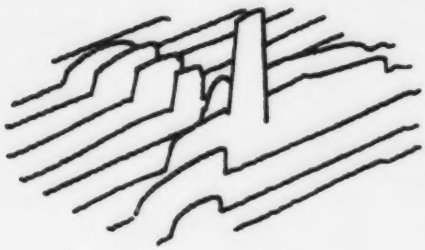


Figure 7 Sparse range image of the grapple fixture.

Robot Task Planning

Task-level Programming

■ K.B. EVANS

This study, the aims of which were given in the last *Bulletin* (Vol. 3, No. 1), deals with the ability of a robot to understand what task is to be performed. The task is to be specified using an interactive facility in which a nonprogrammer describes the required sequence of task operations through a graphical dialogue. The facility will also permit a number of possible task situations to be simulated. The output of this software package is to be a task specification, which can be passed to the on-line sensor-based robot planning and control system.

The basic notions built into the system are:

- The user-interface should accommodate an intuitive description of how the task is to be performed, for use by nonprogrammers.
- Any assembly task can be specified as a sequence of key-states, using a relatively simple graphical interface.
- These key-states can be specified as relative positions and orientations, so that the on-line system will determine the absolute positions and orientations using sensor data.

The task specifier presently consists of a Macintosh-style interface to a Symbolics workstation that allows the user to specify the task without the need to learn a language syntax. The interface takes advantage of the development tools in the Symbolics/LISP/Flavors/Genera environment, while presenting the end-user with the simplicity of a good personal computer interface. All function or action choices are provided from ever-present pull-down menus. At any stage, there is an explanatory line of text at the bottom of the screen to indicate the user's non-obvious current options. Most of this interface is now in place.

The user is nearly always presented with a simple graphical representation of the current state of the assembly task. One of the basic options currently in place is to run an animated playback of the

current task-specification command sequence. This has yet to be elaborated to the point where perceived difficulties, such as part interferences or instabilities, can be simulated off-line.

World Modeling and Task Planning ■ T. SHEPERTYCKI

Previous issues of the *Bulletin* have noted that task-level programming systems for robots require a geometric and spatial representation of the robot and its work environment. The previously described object-oriented system for accomplishing the above was extended to handle the representation and manipulation of chains of linked objects such that the motion of any object in the chain is automatically transmitted to succeeding members of the chain. Based on this extension, a 3-D model of the PUMA 560 robot was created. Using this same frame-based approach, software was written for controlling the PUMA 560 robot by emulating the embedded control language, VAL-II, of the robot.

Integrating the above software modules with a commercially available rule-based expert system shell, ART, has produced an experimental robotic system on which some simple task planning experiments are being run. In particular, a block stacking assembly task in which an initial configuration of N blocks arranged in M towers is rearranged by the robot into N blocks of P towers in accordance with a final configuration specified by the user has been performed. In this example extensive use is made of the hypothetical reasoning process available within ART. During the execution phase of this experiment, the ART program not only controls the real robot but also communicates with the robot model within the world modeler as well as with its own schema representation of the robot. In this arrangement all task-level programming is done at a higher level within the rule-based structure of the expert system shell.

It is clear that this is but a first step since a complete implementation of the system must have integrated vision and tactile sensing. Without such sensing real world planning is impossible because actions which may fail or only partially succeed during execution cannot be detected.

Finally, within the framework outlined above, work was begun on a path-finding extension to the world modeler.

Mobile Robot for Health Care Applications

Autonomous Mobile Platform ■ D.A. GREEN – R. LISCANO

A joint project between the Computing Technology and the Medical Engineering Sections to develop a mobile robot for home and health care applications was initiated in September 1987. A high quality three-wheeled computer-controlled platform has been acquired as the basis for this development. Discussion with external partners for possible participation and collaboration is underway.

Thus far, research within the Computing Technology Section has addressed the following two subprojects: the identification of a suitable control methodology that will become the foundation for future development, and the development of a suitable computer architecture to support R&D prototyping and realtime operation of the autonomous platform.

Intermediate goals regarding navigational capability have been established as follows. Initially, the mobile platform will be capable of traversing along a user-defined preplanned path avoiding collisions with objects by slowing down and stopping if required. Later, with the aid of enhanced on-board sensing, the platform will be able to automatically generate a path around obstacles that obstruct the desired path of motion.

Rangefinder for Mobile Robot ■ G. BECHTHOLD – R. LISCANO

A rangefinder based on a single line of structured light and a TV camera is being developed as a

vision sensor for the mobile robot. A mockup of the device has been completed for preliminary evaluation. The design of electronics for the extraction of the nearest object and the construction of a servo drive to rotate the rangefinder in azimuth are underway.

■ Range Image Processing for Object Recognition

■ S.H.Y. HUNG

Three-dimensional Object Recognition Based on Global Descriptors

A method of 3-D object recognition that is based on global properties of range image data has been investigated. In this system, instead of extracting the geometric features such as edges, corners, and surfaces and their relations, the range images of an object from all possible viewing directions are considered. The collection of images thus acquired forms a global descriptor or the model of an object and is used to identify the object.

Each 3-D image is characterized by the size and the shape of its silhouette, the standard deviation of z-values, and the distribution of z-values in the (x, y) plane. These four parameters of the images from all viewing directions of an object form the model of the object and are stored in a model database that is structured for rapid search.

When an input image is presented, these parameters are computed and used for searching through the model database. A two-tier tolerance limit is used to eliminate most of the obviously unsuitable candidates quickly without having explicitly to explore them. At the conclusion of the search, some small number of candidates will remain whose parameters fit the input data. If only one view of an object or a cluster of adjacent views of an object remain, then the problem is considered to have been reduced to one of determining the exact pose of the object identified, a process based on its geometric features. If at the conclusion of the search all candidates have been eliminated (a rejection), the input data cannot be identified with any object in the model database. If multiple candidates remain, the unknown object must be scanned from a second viewing direction, and this new set of input data is used to further narrow down the field of possible candidates.

Preliminary results using both simulated data and real data have been encouraging. Since there is no extraction of local features required for the search, both the storage and on-line computational requirements are kept to a minimum giving this method good potential for implementation as a practical robot vision system.

Three-dimensional Modeling Package for Generating Simulated Range Images

A geometric modeling package for generating simulated range data that closely resembles that produced by the laser range finder (1) in use has been written. Range data for building the library of models for the 3-D object recognition system have been generated.

In this package, each object is described by all its surfaces. Each surface is divided into one or more regions such that each region can be described in the $X(s, t)$, $Y(s, t)$, and $Z(s, t)$ Bezier form of parametric equations derived from the key points which determine the region.

Once the set of key points of an object is in the system, the package can generate simulated scanning data of this object for any desired view. The simulated data are quite close to the data obtained by scanning the real object with the laser range finder.

This package could also provide a useful tool to support work on range data processing when a good range finder is not available.

Reference

1. Rioux, M. Laser range finder based on synchronized scanner. Appl. Opt 23(21): 3837–3844; 1984.

RECENT PAPERS —COMPUTING TECHNOLOGY SECTION

Published

- ☐ ARCHIBALD, C. Automated vision: fundamentals and general overview. Proceedings of the 2nd National Symposium on Computer Image Processing, Chisholm Institute of Technology, Caulfield, Victoria, Australia. July 14–15, 1987. pp. B1–B1.4. NRC 29134.
- ☐ ARCHIBALD, C. Case studies in machine vision: companies and applications. Proceedings of the 2nd National Symposium on Computer Image Processing, Chisholm Institute of Technology, Caulfield, Victoria, Australia. July 14–15, 1987. pp. B6.2–B6.5. NRC 29135.
- ☐ ARCHIBALD, C. Trends in automated vision. Proceedings of the 2nd National Symposium on Computer Image Processing, Chisholm Institute of Technology, Caulfield, Victoria, Australia. July 14–15, 1987. pp. C1–C1.6. NRC 29136.
- ☐ DHOME, M., AND KASVAND, T. Polyhedra recognition by hypothesis accumulation. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. PAMI-9(3): 429–438; 1987. NRC 29137.
- ☐ DOMEY, J., AND BURTNYK, N. 3D vision for robotics and automation. Proceedings of the Canadian Engineering Centennial Convention, Montreal, P.Q. May 18–21, 1987. pp. 8.3.1–8.3.13. NRC 27959.
- ☐ GENTLEMAN, W.M., AND STEWART, D.A. Debugging multitask programs. NRC/ERB-1008, September 1987. 15 pages. NRC 28252.
- ☐ GENTLEMAN, W.M., WEIN, M., MACKAY, S.A., STEWART, D.A., PARR, R.K., AND GREEN, D. Harmony, an operating system for embedded industrial multiprocessor applications. IEEE Montech '87 – Compint '87, Montreal, P.Q. November 12, 1987. pp. 249–252. NRC 28016.
- ☐ KADAMANI, R., AND ABDELMALEK, N.N. An interactive program on the IIS display for an adaptive system for matching 3-D range data objects. NRC/ERB-1010, December 1987. 58 pages. NRC 28564.
- ☐ KASVAND, T., OKA, R., DHOME, M., AND RIOUX, M. Object detection and recognition from 3D camera images. Microcomput. Appl. 5(2): 55–58; 1986. NRC 29129.
- ☐ MERRITT, C., AND KASVAND, T. An interactive system for studying plant chromosomes. Compte rendu du Colloque sur la Video-Microscopie, Ottawa, Ont. May 21, 1987. NRC 29138.
- ☐ O'HARA, D.H. Multiprocessor robot control for assembly: a demonstration with tactile feedback for prismatic shaped block insertion. Proceedings of the 7th International Conference on Robot Vision and Sensory Controls, Zurich, Switzerland. February 2–4, 1988. pp. 141–148. NRC 28278.
- ☐ O'HARA, D.H., AND KURTZ, R. Prismatic-shaped block insertion: an application of a multiprocessor robot controller using Harmony. NRC/ERB-1006, December 1987. 60 pages. NRC 28493.
- ☐ O'HARA, D.H., ELGAZZAR, S., AND THE, G. ALTER-Harmony: control of a PUMA robot from the Chorus multiprocessor. NRC/ERB-1002, December 1987. 34 pages. NRC 28492.
- ☐ RIOUX, M., BECHTHOLD, G., TAYLOR, D., AND DUGGAN, M. Design of a large depth of view three-dimensional camera for robot vision. Opt. Eng. 26(12): 1245–1250; 1987. NRC 29130.
- ☐ UMEYAMA, S., AND KASVAND, T. A new algorithm for point and plane pattern matching. NRC/ERB-1009, November 1987. 70 pages. NRC 28455.
- ☐ YAMADA, H., AND KASVAND, T. Transparent object extraction from regular textured backgrounds by using binary parallel operations. Comput. Vision, Graphics, Image Process. 40(1): 41–53; 1987. NRC 29139.

Presented

- ☐ ARCHIBALD, C. Sensor based robotics at NRCC. Chisholm Institute of Technology, Center for Robotics, Caulfield, Victoria, Australia. July 29, 1987.
- ☐ BURTNYK, N. Research on autonomous systems. NRC/DEE Science Association, Ottawa, Ont. January 12, 1988.
- ☐ ELGAZZAR, S. Systems architecture of a multiprocessor robot controller. Part II. Seminar, École Polytechnique, Montreal, P.Q. February 3, 1988.

- ☐ GENTLEMAN, W.M. Parallel experiences. Seminar, Division of Informatics, National Research Council of Canada, Ottawa, Ont. September 9, 1987.
- ☐ GENTLEMAN, W.M. Multiprocessor realtime applications. IEE International Specialist Seminar on "The Design and Application of Parallel Digital Processors," Lisbon, Portugal. April 11–15, 1988.
- ☐ GENTLEMAN, W.M., AND STEWART, D.A. A development environment for Harmony. Bell Northern Research, Ottawa, Ont. February 5, 1988.
- ☐ GREEN, D. Systems architecture of a multiprocessor robot controller. Part I. Seminar, École Polytechnique, Montreal, P.Q. February 3, 1988.
- ☐ HOSPITAL, M., YAMADA, H., KASVAND, T., AND UMEYAMA, S. 3D curve based matching method using dynamic programming. First International Conference on Computer Vision, London, England. June 8–11, 1987.
- ☐ HUNG, S.H.Y. Introduction to computer networks. Department of Computer Sciences, Southwestern Jiaotong University, Sichuen, People's Republic of China. November 10, 1987.
- ☐ HUNG, S.H.Y. Circuit switching, packet switching and network protocols. Department of Computer Sciences, Southwestern Jiaotong University, Sichuen, People's Republic of China. November 12, 1987.
- ☐ HUNG, S.H.Y. Local area and long-haul networks. Department of Computer Sciences, Southwestern Jiaotong University, Sichuen, People's Republic of China. November 17, 1987.
- ☐ HUNG, S.H.Y. Encryption and network security. Department of Computer Sciences, Southwestern Jiaotong University, Sichuen, People's Republic of China. November 19, 1987.
- ☐ HUNG, S.H.Y. Introduction to artificial intelligence. Department of Computer Sciences, Southwestern Jiaotong University, Sichuen, People's Republic of China. November 24, 1987.
- ☐ HUNG, S.H.Y. Supercomputers. Department of Computer Sciences, Southwestern Jiaotong University, Sichuen, People's Republic of China. November 26, 1987.
- ☐ HUNG, S.H.Y. Image processing and computer vision. Department of Computer Sciences, Southwestern Jiaotong University, Sichuen, People's Republic of China. December 1, 1987.
- ☐ HUNG, S.H.Y. The state-of-art of computers and communication. Department of Computer Sciences, Southwestern Jiaotong University, Sichuen, People's Republic of China. December 3, 1987.
- ☐ MACKAY, S. Code management and distributed development of the Harmony Operating System. Computer Graphics Laboratory, University of Waterloo, Waterloo, Ont. November 25, 1987.
- ☐ ROTH, G., AND ARCHIBALD, C. Sensor based robotics at NRCC. CAE Ltd., Montreal, P.Q. June 1, 1987.
- ☐ ROTH, G., AND ARCHIBALD, C. Sensor based robotics at NRCC. Department of Electrical and Computer Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI. June 5, 1987.
- ☐ ROTH, G., AND ARCHIBALD, C. Sensor based robotics at NRCC. General Motors Technical Center, Warren, MI. June 8, 1987.
- ☐ WEIN, M., GENTLEMAN, W.M., MACKAY, S.A., STEWART, D.A., GREEN, D., AND PARR, R. Software development for Harmony Operating System and for applications. Ottawa Carleton Research Institute, Ottawa, Ont. May 28, 1987.

INFORMATION TECHNOLOGY SECTION

Section Head — J.W. Brahan

■ Introduction

The Information Technology Section carries out research and development in the area of applied artificial intelligence with a focus on knowledge-based systems. The projects that make up the Section's program of work are directed towards the development of knowledge-based system tools and methodologies and their application in response to identified requirements. Emphasis is placed on collaboration with other centers within NRC and outside. Currently, the Section is collaborating with the Laboratory for Biomedical Engineering in research on discovery learning from medical databases and with the Division of Mechanical Engineering's Engine Laboratory in the application of expert systems to engine health monitoring. External collaborators include Laval University, SystemOID Inc., Système Métavision Inc., and the University of Leeds. Due to staff limitations, the engineering information project has been terminated this year with appropriate activities being continued within the knowledge-based systems project. During the period under review, much of the effort has been devoted to building up the development facility and expertise. During the next period, priority will be given to the application of this capability in collaboration with other centers.

■ Knowledge-based Systems

■ W.H. HENNEKER – S. ABU-HAKIMA – J.W. BRAHAN – L. BUCK – P.L. DAVIDSON – B. FARLEY – R.A. ORCHARD – A. PARENT – F.B. VERNADAT

The objective of this project is to develop and demonstrate a flexible methodology and supporting tools for the creation of systems that provide for the acquisition, representation, and application of knowledge. Activities include the development of a prototype system demonstrating inductive learning, investigation of "second generation" expert systems involving the use of domain models as part of their knowledge base and the development and demonstration of user-interface facilities for use in expert systems.

During the period under review, a network of five SUN-3 workstations was established. This network has been augmented by a Symbolics 3620 LISP machine and an existing Data General MV/8000. TCP/IP software permits file transfer and remote logon among all nodes. The software environment ART was installed on the SUN-3 machines. Selected personnel were trained in the use of this software and subsequently offered two training sessions to other project participants and external collaborators. The ID3 and AQ11 algorithms for inductive learning were investigated and reconstructed in C and LISP, respectively. The AQ11 program was provided to an external collaborator to generate classification rules for inclusion in a rule-based expert system. Work in the area of user-interface facilities has led to collaboration with the company Système Métavision Inc. of Montreal in the development of a natural language interface for its expert tutorial system.

Investigation of Commercial Expert System Tools

As part of the learning phase of the knowledge-based system project, some effort has been spent in looking into existing commercial expert systems. These systems vary widely in cost, approach, and capabilities. The costs range from less than $100 to more than $50 000. The approaches taken include systems that are rule based with strictly forward chaining inferencing, those that have both forward and backward chaining capabilities, systems that by an inductive process generate rules from examples,

and so on. Where possible we have obtained copies of demonstration systems. Some of the systems that have been investigated are AutoIntelligence, 1ST Class, Rulemaster, KDS 3 (the previous four have an inductive capability), PC Plus, Intelligent Compiler, Crystal, Goldworks, KEE, and ART.

A contract was let to Acquired Intelligence Inc. of Victoria, British Columbia, to investigate the problem of automating knowledge acquisition for expert systems. The contract led to a report entitled "Investigation of Automated Knowledge Acquisition" as well as a one-day seminar given at the NRC. The report discusses the psychological background behind the methods of automated knowledge acquisition. It deals with a number of automated systems including those based on the repertory grid method (PLANET, PEGASUS, KITTEN, ETS, NeoETS, AQUINAS) and others (NEXSYS, SAVANT, SEAR/R1/RIME, SALT, etc.). Machine learning systems are also covered in the report. Such systems as AQ11/AQ15, INDUCE, CLUSTER/2, MARVIN, DUCE, and ID3 are presented. Finally, some commercial systems are reviewed.

Natural Language Interface for an Expert Tutor

This activity focuses on the development of a natural language interface for the explanation module of an expert tutor system being built by the company Système Métavision Inc. of Montreal. The system currently uses a menu interface. The explanation module is built from a group of primitives which allow the user to pose questions to the system and to obtain information concerning the rules describing a particular application domain, the known and inferred facts. These primitives are functions whose names refer to the type of request and whose arguments contain the content of the request. The natural language interface allows the user of the expert tutor to pose his requests in French. The interface translates each request into its corresponding primitive along with the necessary arguments. Examples of the primitives are: why_did_ask(fact), why_did_not_ask(fact), how_conclude(fact), why_did_not_conclude(fact), explain(rule), etc.

The natural language interface is an implementation of Michael McCord's Modular Logic Grammar (MLG) which has been modified for French language use. This grammar is an augmented version of the Definite Clause Grammar formalism and allows for the definition of logical terminal symbols in the grammar rules, the distinction between strong and weak nonterminal symbols, and the use of a shift operator for left-embedding syntactic constructions. The MLG permits syntactic and semantic analysis to be separated into two modules. Syntactic analysis of a sentence is first performed and the result is a syntax tree whose nodes correspond to strong nonterminals and whose leaves correspond to logical terminals. This syntax tree is input for the semantic analyzer. It is first restructured according to the scope of the quantifiers, then those reordered logical terminals are joined. The result of semantic analysis is a semantic item including a logical form which, in principle, represents the meaning of the sentence being analyzed.

The natural language interface is being developed in Arity/Prolog on an IBM/AT-compatible microcomputer. Arity/Prolog and its hardware environment correspond, respectively, to the language used for the implementation of the expert tutor system and the microcomputer on which that system has been developed and will be commercialized.

RIMES — An Expert System Shell for Medical Device Risk Management

The objective of this project is to develop a prototype expert system shell to assist in determining the priority index of medical devices according to the degree of risk that is associated with them. This application was developed in collaboration with the Bureau of Radiation and Medical Devices (BRMD), Health and Welfare Canada.

The Evaluation and Notification Division of the BRMD investigates specific medical device problems, as reported by users and manufacturers, and more general device problems, involving groups of

similar devices. Medical device problems must be assessed and prioritized for investigation and decisions must be made regarding what course of action is appropriate for problem resolution.

The assessment of device problems and identification of effective problem resolution strategies is becoming increasingly complex for a variety of reasons, but most notably because medical device technology is changing rapidly, medical device sophistication is increasing, the number of devices used within the health care system is growing, the full spectrum of risks and benefits of new devices and technologies is often not realized until well into the product lifecycle, and information regarding the nature and prevalence of adverse medical device occurrences in Canada is limited.

The approach that has been followed in this project is to develop a customized expert system shell. An algorithmic decision model has been enhanced by integrating knowledge processing techniques. Small rulebases are attached to the nodes in the data structure. During the decision process, the rulebases can be scanned using different inferencing techniques such as forward and backward chaining and constraint propagation. The shell comprises a data- and knowledge-base editor and a menu-driven man–machine interface. The system was implemented in Common LISP on a Data General MV/8000.

User Modeling in Knowledge-based Systems

The objectives of this research have been the identification of requirements and the development of a facility to support user modeling within knowledge-based systems. Work related to the first objective, the identification of user model requirements, is currently underway. This work involves a theoretical study of human information processing and considerations as to model type, monitoring technique, and knowledge representation scheme.

The user model is any information a program has which is specific to the particular user of the system. The information can range from a simple count of how many incorrect answers have been given to a more elaborate data structure which purports to represent a relevant part of the user's knowledge. It is assumed that user modeling will enhance the performance of interactive systems. Some degree of tunability is desirable when communication with the user is a major consideration or when the system is to be used by people with very different backgrounds. The nature of the user model should be based on its contribution to the effectiveness of the system (i.e., correctness of the decisions reached by the system), efficiency (i.e., the facility with which the internal operations of the system are carried out), and acceptability (i.e., a user's view of the system).

User models or representations of the user's knowledge are defined within an information processing framework and cognitive architecture. They are based on models of semantic and episodic processes. Three distinct dimensions of user models can be identified: canonical or individual, explicit or implicit, short term or long term. Canonical models refer to the characterization of a single typical user while individual models refer to the characterization of each user's particular needs. Explicit models are said to be specified either by the system designer or by the users themselves. Implicit models are inferred by the system on the basis of the user's behavior. Long-term models characterize user properties that need to be monitored over a relatively long period of time whereas short-term models may characterize things such as the problem the user is currently trying to solve. Techniques for inferring a user's knowledge of concepts can be classified according to four approaches: (1) comparing performance with a predetermined standard or "expert difference" modeling; (2) recognizing instances of prestored behavior sequences which suggest unfamiliarity with a concept or what has been termed "bad-plan" detection; (3) searching all members of a set of candidate models to locate a particular user model; and (4) analyzing the frequency of use of concepts. The chosen representation scheme should be domain independent. It should also be flexible and allow for as much or as little detail as required and for incomplete and inconsistent knowledge.

Machine Learning

The overall objective of the project is to investigate techniques of discovery learning from data and to demonstrate feasibility through application to a subset of crime analysis and to a medical database.

Induction in its simplest form can be considered as the partitioning of a set of objects into subsets, the members of which are related in respect to some meaningful measures. It imposes a structure on the set of objects which interrelates subsets or classes and simplifies the description of the full set. In the first application, we wish to describe subsets of a break and enter data set in such a way that we can identify related instances and provide a description of individuals in terms of their activity. In the second application, we wish to identify disease classifications from a database on familial retinal degeneration. Because of the availability of the data, work to date has focused on the first application. Three approaches to inductive learning appear to offer possibilities. One applies symbol reduction transformations to the logic description of the data to identify new, more general terms or patterns. (e.g., DUCE) A second uses quasi-statistical techniques to identify subsets or "concepts" within a data set. A third uses a generalization-based memory approach in which memory node members share predictive and predictable values (e.g., UNIMEM).

Work on this project was started during a study visit to the Turing Institute where Muggleton's program DUCE was readily available. This program uses six symbol reduction transformations to simplify the logic description of the dataset. Most of the work to date has involved the application of DUCE and to a large extent has focused on the structure of the attributes. More recently, Lebowitz's UNIMEM program, which had been obtained from the developer at Columbia University, was installed on the NRC facility and processing of the break and enter data with UNIMEM is now underway. A number of problems with the attributes remain to be resolved, particularly geographic location, time, and the interrelation between time and distance. However, results of processing with both DUCE and UNIMEM indicate that meaningful structures can be produced by these methods.

■ Intelligent Advisor Systems

■ J.W. Brahan – S. Abu-Hakima – R.A. Orchard – A. Parent – C.S. Phan

An Intelligent Advisor is under development for use with an interactive computer-based system. It will provide the user of the system with advice that is specifically tailored to the user's immediate goals. The Advisor will be capable of providing a structured tutorial for the neophyte or, operating in a background mode, monitoring user interaction with the system, and providing meaningful responses to requests for help. The project is being undertaken in collaboration with Laval University, the University of Leeds, and SystemOID Inc., a subsidiary of Price Waterhouse.

Work on the project was formally initiated at a meeting of the participants in July 1987 when agreement was reached on the conceptual design of the Advisor and the responsibilities of the participating organizations. The major components of the Advisor consist of the controller and interface (NRC), the tutor (Laval), the user model (NRC), the planner (NRC), the question-answerer (Leeds), the subject knowledge-base (Laval and NRC), and the target system for demonstration of feasibility (SystemOID). The conceptual design phase of database design methodology has been identified as the subject of the feasibility demonstration and the database design tool CONSOI-ERM produced by SystemOID Inc. will be the target computer-based system.

The major focus of activity during the period under review has been the identification of the basic concepts that underlie the use of CONSOI-ERM and the protocols for the resolution of user difficulties. Concepts are based on courses in database design methodology currently given at Laval in the Department of Computer Science and in the Department of Management Science. Initial gathering of protocols for the resolution of problems has been undertaken through observation of students in these two courses. A simulation facility has been set up at Laval which will permit a study to be undertaken

using a human advisor interacting with a user with constraints similar to those imposed by the computer-based system. The human advisor can communicate with the user only through the keyboard and the only information that he has concerning the user is that presented on the user's display screen. The sessions are recorded on video tape and the first results are currently being analyzed to extract the protocols at NRC with the collaboration of a researcher from Leeds.

Preliminary work has begun on the definition of functional requirements for the planner module and on the communication interface requirements between CONSOI and the Advisor. The primary goals for the next period are the definition of the Advisor functional architecture and the subject knowledge-base.

■ Knowledge-based Systems/Expert Systems for Machinery Monitoring and Fault Diagnosis

■ H. EL-ZORKANY – P.L. DAVIDSON – C.S. PHAN

To advance the state of engine health monitoring (EHM) and fault diagnosis in practice, R&D activities in two areas are required. The first area is that of generating (and validating in practice) the required know-how and the second is that of making that know-how more accessible to practitioners in the field. An example of the R&D in the first area is the work being done at the Engine Laboratory of the National Research Council. It is in the second area that artificial intelligence technology may be of use. Motivated by this fact and the interest expressed by the Department of National Defence (DND) and NRC's mangement, a project was initiated within the Intelligent Knowledge-based Systems (IKBS) program in the Systems Laboratory of the Division of Mechanical Engineering of NRC in April 1987 to address these concerns. The project was launched in collaboration with the Engine Laboratory of NRC and is financially supported by DND. As part of the on-going NRC reorganization, the IKBS program in the Systems Laboratory was terminated and the associated resources transferred to the Division of Electrical Engineering of NRC in September 1987. A new project plan was developed and a new project team is being formed to continue the work.

The overall project goals are to assess the potential of applications of knowledge-based systems and expert systems for machinery health monitoring and fault diagnosis and to undertake longer-term generic research to enhance the potential of such applications.

Initially, the emphasis will be placed on gas turbines and specifically on jet engines. This is motivated by the needs of our current client (DND) who is providing partial financial support for this work. The approach being adopted to achieve the project goals has the following main objectives:

- Identify (in conjunction with the Engine Laboratory of NRC) EHM problems that are potentially suitable for the application of knowledge-based systems/expert systems (KBS/ES) technology and estimate the resources required for undertaking any such work.
- Develop a KBS/ES laboratory prototype to support a subset of the GE J-85 or the GE 404 engine diagnostics. This activity is being initiated as recommended by the Engine Laboratory based on their discussions with DND. Initially, existing maintenance manuals will be used as the source of knowledge. It is expected that in addition to the Engine Laboratory other collaborators, namely DND and Orenda Division of Hawker Siddeley Canada Inc., will supply the necessary test cases and the required domain expertise. Additionally, the utility of hypermedia for such an application will be investigated.
- Initiate longer-term research activities in response to problems identified during the above developments. Currently, several areas appear relevant, namely: pattern recognition based on neural networks, qualitative/causal models and reasoning, generic tasks and knowledge-bases in the engine domain, and related KBS/ES development methodologies and supporting tools.

■ Engineering Information Systems

■ F.B. VERNADAT – A. FAMILI
– W.H. HENNEKER – R.H. WYLIE

The objective of this project is to define tools, techniques, architectures, and methodologies in order to build advanced information systems for information processing and decision-making support in industrial production systems. Activities include maintenance of the current version of DBS/R and further development of this database environment, studies directed towards the representation and manipulation of production rules, frames and semantic nets in terms of relational database structures, development of the functional requirements and design specification of model management systems, and investigation of machine learning application areas in intelligent manufacturing systems.

DBS/R Maintenance and Development

The pseudo-relational database environment DBS/R was translated into the C programming language and its compiler was modified to emit C code through a contract with DMR Group Inc. of Ottawa. Following completion of this task, the documentation was translated into English and modified to reflect the new C version. The interactive editor facility has also been translated into C and its compiler has been modified. Exploratory work consisted of implementing a T-tree index module to augment the existing hash-table-based indexes of DBS/R. This effort was successful in meeting functionality and speed expectations.

No future work on DBS/R is planned. While the incorporation of the T-tree index module would require only a moderate amount of work, such an effort would be ill considered in the absence of a revision of the existing indexing system (which would require extensive modifications to the basic data structures of the system). TAO Simulations Inc., a company specializing in numerical modeling, expressed an interest in the use of DBS/R for managing finite element models of hydraulic systems. They have been provided with a copy of the C version and intend to convert it to run under UNIX.

Model Management Research

A review of modeling and model management techniques has been completed. Because the domain is so large, the effort has been focused on the model management research being performed by the decision support and the simulation communities, with less emphasis on the more specialized modeling and model support research under way in areas such as mathematical programming, qualitative modeling, and data modeling.

In conjunction with this effort, the potential for application of model management in automated manufacturing systems has been assessed. The conclusion of this exercise is that use of a model-based formalism to structure the informational and analytical resources would result in systems which are easier to develop, maintain, and extend. Three specific areas in which the semantics of models and modeling seem particularly appropriate are realtime control (where the complexity of the processes being controlled coupled with the time constraints militates for the use of libraries of specialized models), planning and scheduling (where it is natural to structure the problem as a hierarchy of models, each of which represents a different view of the system either in scope, granularity, or features), and design.

This work will proceed with the specification and prototyping of a model management system (MMS). A modelbase representing a hypothetical manufacturing facility and an analytical toolbase containing planning tools will then be developed and used to study and demonstrate the capabilities of the MMS.

Machine Learning Applications in Manufacturing

Interest in manufacturing decision-making systems that are capable of improving their performance by learning has been visible since the early days of AI applications in manufacturing. The more recent revival of interest has been due to the complexity of manufacturing decision-making and control systems where it has been realized that these systems would greatly benefit if they were provided with some means of learning and performance improvement.

The objective of this work has been to explore the applicability and usefulness of machine learning techniques in intelligent manufacturing systems and to develop the architecture of an intelligent supervisor system with learning capabilities that provides autonomous performance improvement to intelligent manufacturing applications.

Initial studies on the application of machine learning techniques in manufacturing systems have been undertaken. A hierarchical model of an industrial production system has been prepared and different decision-making and control tasks, performance of which could be improved by a learning system, have been identified.

The architecture and a first prototype of an intelligent supervisor system for manufacturing environments, called IMAFO, are being developed. The prototype consists of a process simulator, a learning mechanism, and a performance mechanism. The process simulator currently provides data that may be generated by a realtime process at some time in the future. The learning mechanism will continuously monitor the process, receive the appropriate data and knowledge through various data acquisition mechanisms, filter and generalize this information, and try to understand as much as possible. The performance mechanism will take the results of the learning mechanism and plan an output through its output generator. This prototype is being implemented in the ART programming environment with additional LISP code. Figure 1 shows the basic architecture of IMAFO.

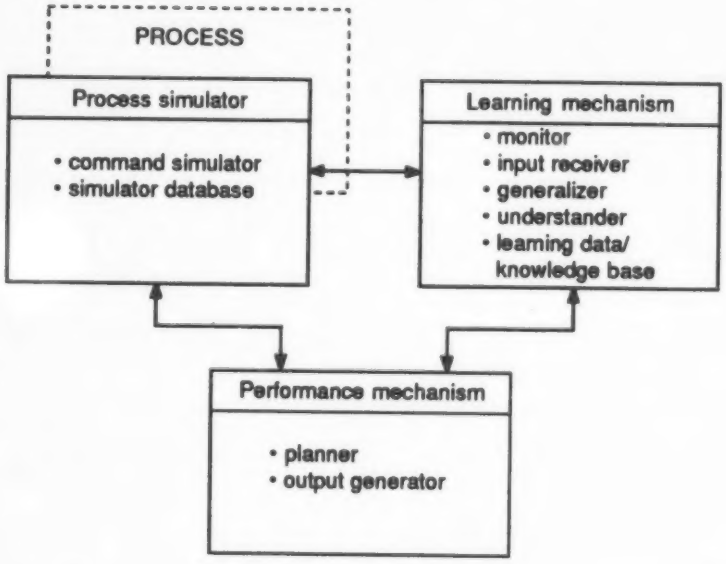


Figure 1 The structure of an intelligent decision-making and control system (IMAFO).

Advanced Integrity Manager for DBS/R

■ A. FAMILI

The principal role of computers in integrated manufacturing systems is to integrate different functions, such as design, manufacturing, and business operations, into a unified, well-coordinated system. The key to this integration is one or more correct, reliable, and well-structured databases. The objective of this work has been to provide DBS/R, a relational database environment for manufacturing applications, with efficient data integrity mechanisms to guard the database against unacceptable transactions.

Using the example of an automobile assembly plant in England, an entity diagram representing the associations among the entities was developed. The data definition language (DDL) of DBS/R was then used to write this information into a schema and to generate a database server (DB). Two approaches for integrating an integrity mechanism into DBS/R were carefully evaluated. In the first approach, the database server of the automobile assembly plant application was extended so that it included an integrity subsystem consisting of one or more rules for each attribute of each relation. The second approach was based on certain Data Manipulation Language (DML) primitives. This approach, which is very universal and flexible, has resulted in the development of an integrity manager in which different users access a common core of the integrity subsystem and provide the required information to set up their own integrity mechanism. Support for refinement and setup of special integrity mechanisms for users of DBS/R will be available. Figure 2 shows the basic structure of the second approach and the integrity subsystem.

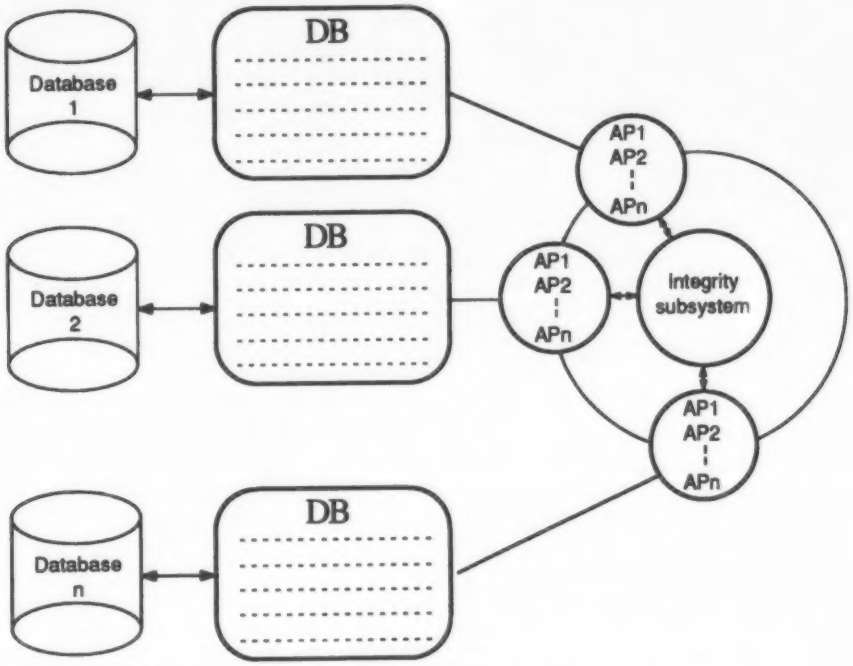


Figure 2 Diagram of the DML approach of the integrity subsystems.

RECENT PAPERS — INFORMATION TECHNOLOGY SECTION

Published

- ABU-HAKIMA, S. Conference report, Compint '87 at Montech '87: The Computer Aided Technologies, Montreal, P.Q. Can. Artif. Intell. Magazine, 16(April): 39–41; 1988. NRC 28695.
- ABU-HAKIMA, S., AND OPPACHER, F. RATIONALE: reasoning by explaining. Proceedings of the Fourth International Conference on Data Engineering, Los Angeles, CA. February 1–5, 1988. pp. 258–265. NRC 28605.
- BRAHAN, J.W. Applied AI research and development at NRC. Can. Artif. Intell. Magazine, 14(January): 16–17; 1988. NRC 29126.
- DAVIDSON, C.H., CHAILLOUX, J.-J., DAVIDSON, P.L., AND RUBERG, K. The impact of expert systems on the production and use of information in building design and construction. Report for the Working Commissions W57 and W74 of the International Council for Building Research, Studies and Documentation – C.I.B. August 1987. 43 pages.
- DI LEVA, A., AND VERNADAT, F. Information analysis and modelling of production systems. Proceedings of the 3rd International Conference on Advances in Production Management Systems (APMS 87), Winnipeg, Man. August 11–14, 1987. pp. 427–439. NRC 26050.
- DI LEVA, A., VERNADAT, F., AND BIZIER, D. Information system analysis and conceptual database design in production environments with M*. Comput. Ind. 9(3): 183–218; 1987. NRC 28124.
- DI LEVA, A., VERNADAT, F., AND BIZIER. From enterprise analysis to conceptual database design in production systems. Proceedings of the 2nd International Conference on Production Systems, Paris, France. April 6–10, 1987. pp. 191–207. NRC 26337.
- FAMILI, A. Integrated software provides workcell autonomy. Robotics Today, 9(1): 18–20; 1987. NRC 27417.
- FAMILI, A. Integrity subsystem of a relational manufacturing database. Proceedings of the 1987 ASME International Computers in Engineering Conference, New York, NY. August 9–13, 1987. pp. 97–102. NRC 27492.
- FAMILI, A., AND VERNADAT, F.B. Integrity constraints of manufacturing databases. *In* International Trends in Manufacturing Technology, Control and Programming in Advanced Manufacturing. *Edited by* K. Rathmill. IFS (Publications) Ltd., London, England. 1988. pp. 37–56.
- VERNADAT, F. Designing a data base for production systems. Can. Datasyst. 19(4): 55–56; 1987. NRC 28291.
- VERNADAT, F. Artificial intelligence in CIM databases. *In* Artificial Intelligence — Its Role in Computer-Integrated Manufacturing. *Edited by* A. Kusiak. IFS (Publications) Ltd., Bedford, U.K. Chapt. 7. NRC 26585.
- VERNADAT, F. Représentation des connaissances et bases de données relationelles. Des Bases de Données aux Bases de Connaissances. *Edited by* S. Miranda. Editions P.S.I., Editests, Paris, France. 1987. pp. 83–103. NRC 28292.
- VERNADAT, F. Reconnaissance de situation et commande situationnelle pour la conduite des ateliers de production. Rapport de recherche, Laboratoire d'Informatique Fondamentale et d'Intelligence Artificielle, Institut d'Informatique et de Mathématiques Appliquées de Grenoble, Grenoble, France. December 1987. 86 pages.
- VERNADAT, F. Which way for the fourth-generation? Can. Datasyst. In press. NRC 28293.

Presented

- ABU-HAKIMA, S. RATIONALE: developing expert systems that reason by explaining. Canadian Workplace Automation Research Centre, Department of Communications, Laval, P.Q. January 14, 1988.

- ABU-HAKIMA, S. RATIONALE: Reasoning by explaining. NRC/DEE Science Association, Ottawa, Ont. March 8, 1988.
- BRAHAN, J.W. Expert systems and their application. Atlantic Research Laboratory, National Research Council of Canada, Halifax, N.S. March 9, 1987.
- CRABTREE, D., BRAHAN, J.W., MOUNT, H.T.J., NIKTASH, M., AND PRESSMAN, I.S. Finding order in chaos. Annual Conference of the Canadian Advanced Technology Association, Ottawa, Ont. April 18, 1988.
- DAVIDSON, P.L. Le processus d'acquisition de connaissances pour un système expert: les participants, la planification, les outils et les techniques. 55e Congrès de l'Association canadienne française pour l'avancement des sciences (ACFAS), Ottawa, Ont. May 18–22, 1987.
- DAVIDSON, P.L. La technologie des systèmes experts: problématiques de recherche et applications. École Polytechnique, Montreal, P.Q. October 28, 1987.
- DAVIDSON, P.L. Intelligence artificielle. In the series "A la mi-temps," G. Héon (interviewer). Radio SRC-CBOF, Ottawa, Ont. November 3, 1987.
- VERNADAT, F. Systèmes d'informations et bases de données dans les systèmes de production. Seminar, Laboratoire GRAI, Université de Bordeaux I, Bordeaux, France. April 15–16, 1987.
- VERNADAT, F. Systèmes d'information et reconnaissance de situations dans le pilotage d'atelier de production. Seminar, INRIA–Lorraine, Nancy, France. September 8, 1987.
- VERNADAT, F. Représentation des connaissances et bases de données relationnelles. Journées AFCET "Des Bases de Données aux Bases de Connaissances," Sophia-Antipolis, France. September 28, 1987.
- VERNADAT, F. Situation recognition and control, object-oriented programming and control of manufacturing job-shops. NRC/DEE Science Association, Ottawa, Ont. November 4, 1987.
- VERNADAT, F. Expert database systems: a tutorial. Seminar, Laboratory for Intelligent Systems, Division of Electrical Engineering, National Research Council of Canada, Ottawa, Ont. November 19, 1987.
- VERNADAT, F. A methodology for information modelling and analysis and database design for production systems. Seminar, Carleton University, Ottawa, Ont. November 25, 1987.
- VERNADAT, F. The LIFIA Laboratory, Grenoble, France. NRC/DEE Science Association, Ottawa, Ont. December 2, 1987.
- VERNADAT, F. Les travaux sur l'intelligence artificielle à Grenoble et à la Division de génie électrique du CNRC. Seminar, Industrial Materials Research Institute, National Research Council of Canada, Boucherville, P.Q. December 4, 1987.

PHOTONICS AND SENSORS SECTION

Section Head — J. Domey

■ Introduction

The research activities in the Photonics and Sensors Section are directed at the discovery of new measurement principles and the development of sensor systems that combine optical, electronic, and computer techniques. Industrial automation is the primary goal of our activities, but the generic techniques developed have been applied in a number of fields, including sensors for aviation, guidance of arc-welding robots, inspection of printed circuits, and reproduction of three-dimensional (3-D) objects.

Work on 3-D vision concentrated on the development of a sensor with multiple fields of view allowing high precision and great flexibility, the development of a 3-D sensor for inspecting the position of components on printed circuits, the study of high-speed optical position detectors, and the study of segmentation techniques for 3-D images. The experience gained will be applied over the coming year to the development of a 3-D sensor that operates at video rate and to the solution of major problems of existing sensors, such as dynamic range in intensity and safety.

In the field of nonlinear optics, activities involved the evaluation of optical techniques for image processing and the study of nonlinear optical waveguides and optical components operating at a wavelength of 1.5 μm.

Technology transfer and cooperative efforts with several companies and research groups continued and new initiatives were undertaken. Specifically, assistance continued to be given to the two companies to which the technology of the 3-D vision sensor using synchronized scanning was transferred; this included demonstration of the performance of the technique in several specific applications. Three-dimensional images were also provided to research groups as part of the cooperative activities in 3-D vision. Because of the high demand for 3-D images, moreover, data files of 3-D images will be made available for the development of software for machine vision. A feasibility study on application of the technology to the space station project was also begun. This will involve evaluation of the two techniques developed — synchronized scanning and BIRIS.

The technology for the large depth-of-field sensor, developed last year in collaboration with the Computing Technology Section, was transferred to Servo-Robot Inc. Also under this project, a scientist from the company will work under NRC supervision to analyze the basic limits of triangulation in coherent light.

Hymarc Engineering Ltd. participated in building a high-speed prototype for inspecting printed circuits. This prototype uses a lateral-effect photodiode, and a sampling rate of 200 kHz. The depth of field is 10 mm and the noise in the range data approximately 50 μm rms.

Expertise within the Section in nonlinear optics allowed continued assistance to a company that is developing optical electrical field and deformation sensors, and to several other companies with interests in this field. Very active cooperation has also been established with a number of universities.

■ Three-dimensional Vision

Multiple-measurement-volumes 3-D Camera

■ M. Rioux – F. Blais

Optical Assembly

This camera is the third prototype built in the Photonics and Sensors Section. It is an optical system for three-dimensional measurement based on triangulation and using synchronized scanning. This technique, patented by NRC, greatly improves measurement resolution.

Figure 1a illustrates the optical arrangement diagrammatically. To minimize the bulk of the camera an optical fiber guides the light from the source. In addition, use of the optical fiber facilitates changing the source wavelength when required for specialized applications. The fixed mirrors on each side of the galvanometer are adjustable with micrometers, as is the mount for the CCD linear array at the back of the camera. These adjustments allow rapid and precise changes in configuration.

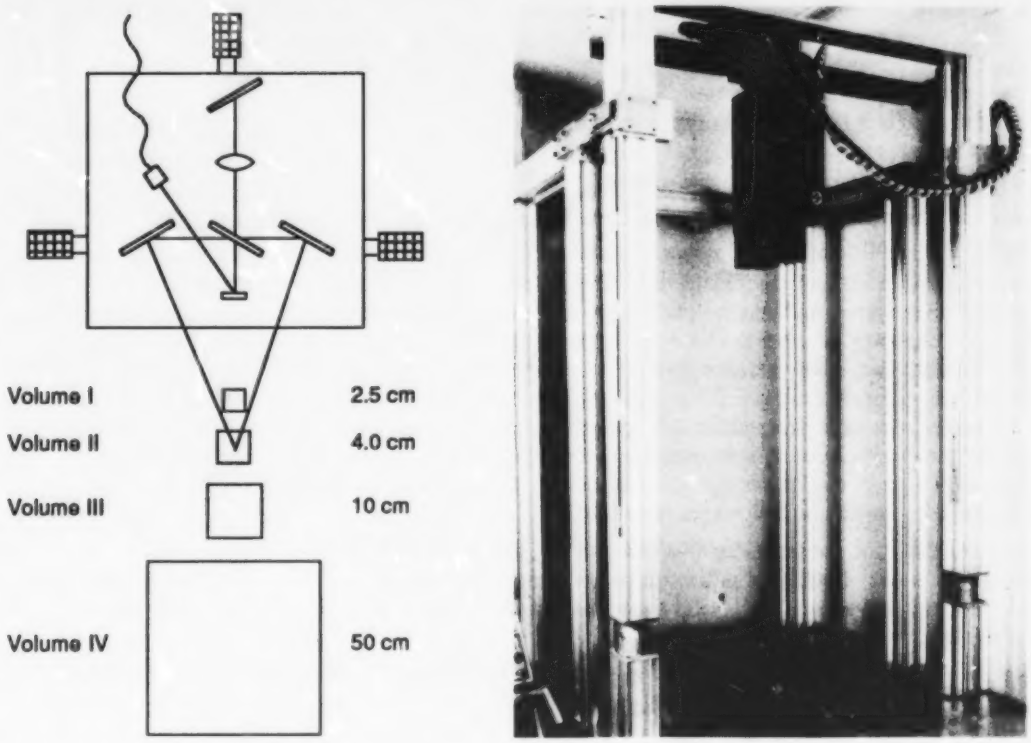


Figure 1 Multiple-measurement-volumes 3-D range sensor.

A feature of this assembly is that the collecting lens is interchangeable to allow different measurement volumes without substantially altering the geometry of the arrangement. In fact, the focal lengths of the lenses used for the different volumes (I, II, III, and IV) are calculated to ensure that the lens-to-CCD distance is constant.

This camera is now in operation (Fig. 1b) and its performance is currently being evaluated.

Control Unit

A special control unit was developed to facilitate application of this new version of the laser triangulation system with synchronized scanning and to make full use of its potential.

The functionality diagram is shown in Fig. 2. Two master processors are used: one that supervises the overall system and a specialized unit that controls the 3-D camera. To these two master processors are attached four specialized slave units (with the potential for future expansion): an image memory of 4 Mbytes for temporary storage of the images measured, a graphics unit for visualization of these images, an IEEE 488 interface providing the commands required for the translation motor of the optical head, and a parallel DR11W interface for the rapid transfer to and from the VAX of the images and system parameters. The user interface is governed by a set of commands entered on the main console.

The data acquisition controller of the 3-D camera manages all of the parameters for control of the

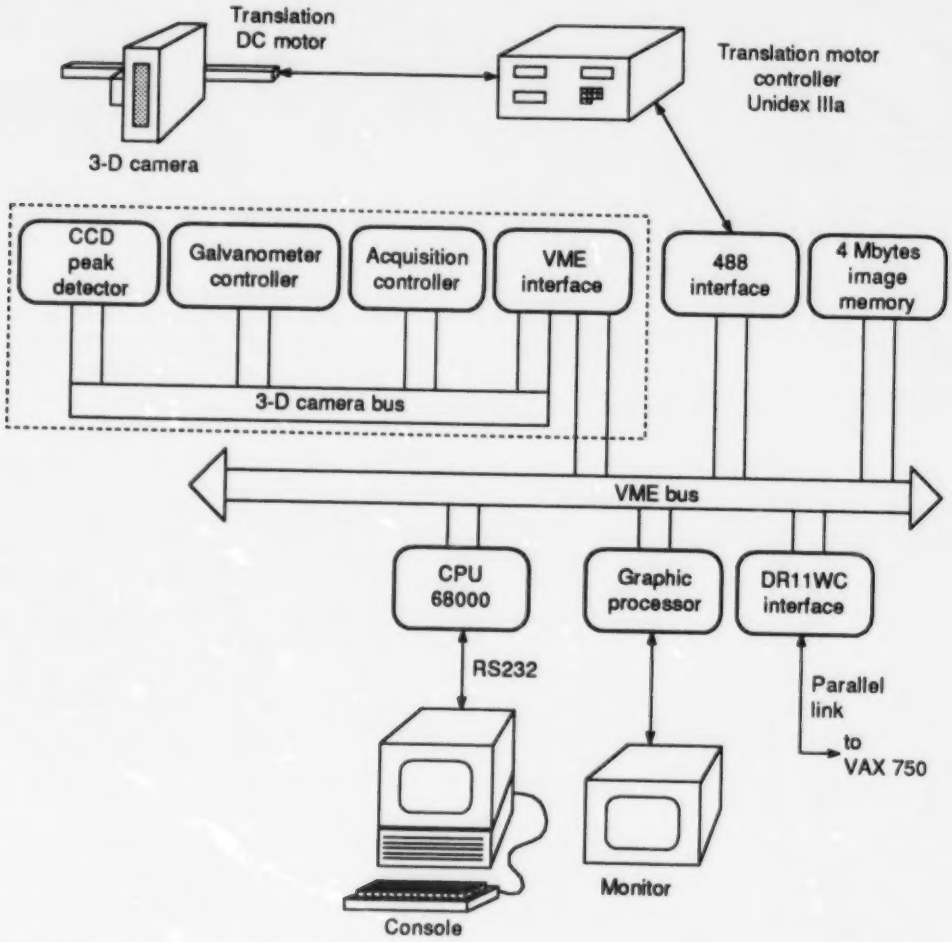


Figure 2 Multiple-measurement-volumes 3-D range sensor, control unit.

optical head: scanning speed and angle of the laser beam (galvanometer), number of scanning points, scanning waveform, number of data acquisition lines, CCD integration time, validation of data, DMA transfer of these data, etc.

The phototransistor-based technology for compensation for errors in gain, zero, and misalignment of the galvanometer was also improved and incorporated into this system, allowing reliable absolute measurement of the galvanometer angle.

The main characteristics of the elements controlled by this system are as follows:

- CCD detector — clock rate, 10 MHz; length, 512 elements; programmable integration time, 58 μs to 3.2 ms; resolution of the position detector, 1/8192; typical accuracy, 1/2000 to 1/4000.
- Galvanometric scanning — sinusoidal or triangular scanning; maximum optical scanning angle, 40°; absolute accuracy, 58 μrad (sinusoidal); scanning speed, adjusted as a function of CCD speed and number of points desired; data acquisition, bidirectional; number of points per cycle, 256 to 16 384.
- Translation unit (dc motor) — speed, acceleration and deceleration programmable and synchronized with data acquisition; accuracy, 10 μm.
- Graphics — resolution, 1024 elements × 1024 elements × 4 levels of grey; functions: pan, scroll, zoom, expansion, compression, manual and automatic gain, region of interest, etc.

BIRIS in Passive Mode

■ F. Blais – M. Rioux

Preliminary testing was carried out using the BIRIS camera in passive mode, that is, using natural lighting of the scene (ambient light) instead of projecting lines with a laser (see *Bulletin of the Division of Electrical Engineering*, Vol. 3, No. 1).

With the use of a double-aperture mask placed in front of the lens of a conventional CCD camera, two images of the object being measured are obtained on the CCD detector, superimposed, and shifted a distance that is in direct relation to the distance of the object from the camera. Automatic correlation of this image can be used to measure this separation, with the position of the maximum indicating the distance between the object and the camera. A precise evaluation of this technique is currently underway.

Improved Position Detection for 3-D Video Rate Vision Sensors

■ J.-A. Beraldin – F. Blais

The uniaxial position detector is a major element of the 3-D vision sensor based on the synchronized scanning approach. It directly affects its speed, accuracy, and the range of possible variations in surface reflectivity and orientation. To achieve true video rate 3-D vision sensing, an in-depth study has been undertaken of the parameters limiting the performance of conventional measurement techniques which use a lateral effect photodiode with dc coupled light-to-voltage conversion and ratio circuitry. Furthermore, research was started on new optical detectors and front-end signal processors able to meet the requirement of accuracy over a wide dynamic range of received signals, typically varying over six orders of magnitude, and in harsh environments characterized by large temperature variations and spurious light.

The in-depth study resulted in the creation of a systematic design approach for conventional 3-D vision sensors based on a lateral effect photodiode. One can now completely characterize the drifts, the signal-to-noise ratio, and the frequency response of a proposed design and then modify it using some simple design formulae and guidelines in accordance with the target application of the system. This design approach was tested with the newly acquired custom-made lateral effect photodiode. This high

speed position sensor yields a dynamic range of 4000:1 in the intensity channel and 500:1 for the position channel. After these encouraging results, investigation of a complete video rate 3-D vision sensor has begun.

In the course of this year, a measurement technique that can be applied advantageously to 3-D position sensors which are based on a lateral effect photodiode was identified. This technique measures the phase variations produced by a focused light spot moving across the detector, the intensity of the source having been previously sinusoidally modulated. It yields a position sensor that is insensitive to offset drifts and to saturation under high reflected intensities. Since these problems are of prime concern in conventional 3-D sensors that use a lateral effect photodiode, there is potential in this technique and an experimental setup that will demonstrate the principle for a position sensor operating at quasi-video rate (1 MHz) is planned.

Techniques for the Extension of the Dynamic Range of Position Sensors

■ J.-A. BERALDIN – F. BLAIS

A major concern in any vision system is the influence of large variations in the received light intensity on the accuracy of the measurements. The dynamic range typically extends over six orders of magnitude. Research work has begun in the area of source intensity control for our active laser range finders. A technique is currently being evaluated that could stretch the dynamic range of CCD-based position sensors by a factor of 100.

Interpretation of Three-dimensional Images

Segmentation of Range Images by Classification of Mean and Gaussian Curvatures

■ P. BOULANGER

The process of segmentation consists of grouping pixels according to common characteristics. These groupings can then be symbolized and interpreted at a higher cognitive level.

To facilitate the interpretation process of the higher levels, the quality criteria for this segmentation are invariance from the observer's point of view, robustness under noisy conditions, and description at several levels of resolution.

To meet these criteria, a range image segmentation technique is being developed using the invariants of surfaces, such as the mean curvature (H) and the Gaussian curvature (K), as a classifier. The technique consists of classifying the various regions of the range map into eight surface types according to the indications of Gaussian and mean curvature.

Several problems are involved in calculating these curvatures. The greatest is sensitivity to noise; to resolve it, a regularization technique was developed on the basis of the label relaxation method. This consists of validating a label only if its immediate neighbors optimize a certain criterion of local consistency. Figure 3a shows the map of labels produced by an initial least-squares evaluation of a range image of objects, while Fig. 3b–d show the same map of labels after successive optimization of consistency.

Segmentation of 3-D Images Using Fourier Transform as an Image Classifier

■ P. BOULANGER – M. CUNG[1]

It has already been demonstrated that planar regions can be segmented using a segmentation technique that consists of encoding a range image with a sinusoidal function and detecting these planar regions as peaks in the Fourier space (1). To reduce computation time and increase the level of automation of this preliminary work, a version of this algorithm was implemented on a CSPI mini-map array processor of 7 M flops. The typical segmentation time was thus shortened by a factor of 15, demonstrating that all planar regions of a range image can be obtained in 5 s. The system was also

[1]Student.

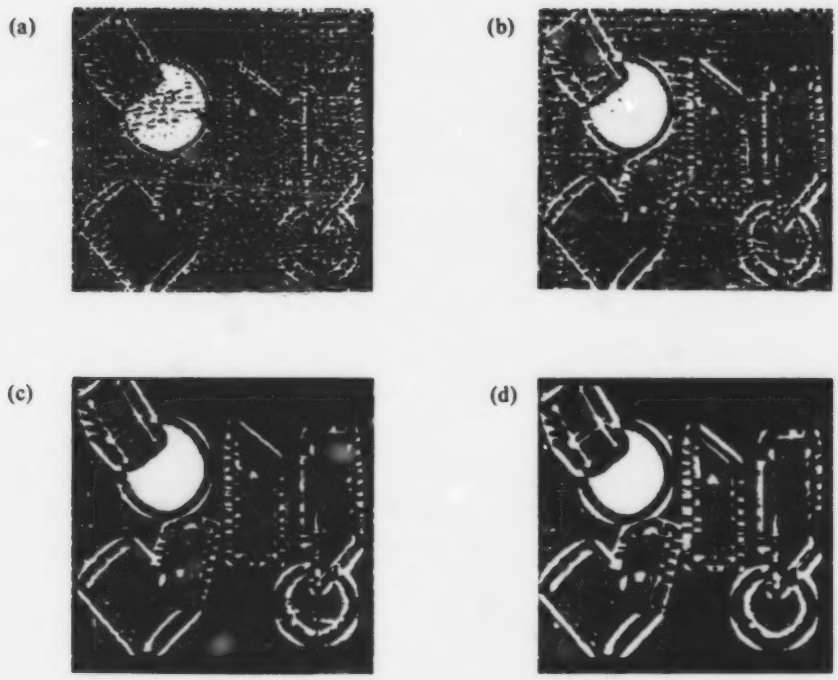


Figure 3 Relaxation of the primal sketch vs. the number of iterations.
(a) 0 iteration, (b) 1 iteration, (c) 5 iterations, (d) 10 iterations.

modified to be made entirely automatic; that is, a range image is provided and from it a symbolic representation of the planar regions of the image is produced.

The technique of segmentation using Fourier transform was also generalized for more complex surfaces, such as the family of quadrics (cylinders, spheres, etc.). The method consists of transforming these quadric surfaces into planar regions and then detecting these by the Fourier transformation method. Encoding spheres and cylinders in the form of planar waves will produce peaks in the Fourier spectrum, and from these the orientation and radii of curvature of the surfaces can be calculated.

Reference

1. Rioux, M., Boulanger, P., and Kasvand, T. Segmentation of range images using sine wave coding and Fourier transformation. Appl. Opt. 26(2): 287–293; 1987. NRC 27510.

Interfacing the Unigraphic CAD/CAM System with the 3-D Camera

■ B. LAMB[1] – P. BOULANGER

An interface between the 3-D camera and the Unigraphic CAD/CAM system of McDonald Douglas was developed. The software reduces the range data from the 3-D camera by means of a reconstruction of the surface using a bidimensional spline model in which the nodes are allocated in optimal fashion. This model is then inserted into the Unigraphic database using UFUNC functions. Experiments to apply these data in areas such as machining and processing by finite elements are being developed at the University of New Brunswick.

[1]Guest worker.

Integration of Anthropometric Data

■ N. SHEWCHENKO[1] – S. FILOSO[1] – P. BOULANGER

The automatic production of standard anthropometric forms requires the capability of integrating range images from a large sample of a population and then producing a form corresponding to the average of that population. Preliminary experiments on this problem have demonstrated that such integration is possible. Among other things, the use of spherical splines for modeling human faces was examined, as was a semi-automatic method for aligning facial structures.

Computer Vision Method for Matching 3-D Range Data Objects

■ N.N. ABDELMALEK

An efficient global technique for matching 3-D range data objects has been developed. The invariant parameters used for matching purposes are functions of the object centroid coordinates, its volume, its base area, second-order central moments, and standard deviations for the object surface and for the contour of the object base silhouette. A simple method is used to restrict the matching process to the model objects of the same surface type (convex or concave). A separate set of invariant parameters is calculated and stored in the matching library for each stable position of each object used. The matching system was tested on a number of objects, including simulated ones, with and without added noise, and was found to be fast and robust.

A Statistical Approach for Matching 3-D Range Data Objects

■ N.N. ABDELMALEK

A statistical-approach-based algorithm for matching 3-D range data objects has been experimentally evaluated. Twenty-two invariant parameters were calculated and the 10 parameters most suitable for matching were chosen according to a simple criterion. Four classification techniques for matching were tested and a hybrid one was used. This technique has also been shown to be robust and fast.

An Interactive Program on the IIS Display for an Adaptive System for Matching 3-D Range Data Objects

■ N.N. ABDELMALEK – R. KADAMANI[2]

An interactive program on the IIS display monitor for an adaptive system for matching 3-D range data objects has been written. The matching program constitutes a recently developed algorithm and the interactive program makes use of the IIS display system. Both the interactive program and the adaptive system are easily modified by the user. Extra sub-programs may be added to the system and existing ones may be easily bypassed.

A Program for the Solution of Ill-posed Linear Systems Arising from the Discretization of the Fredholm Integral Equation of the First Kind

■ N.N. ABDELMALEK

The Fredholm integral equation of the first kind arises in the problems of the restoration of blurred images. A computer program was written in Fortran IV for obtaining smooth solutions of ill-posed systems of linear equations arising from the discretization of the Fredholm integral equation of the first kind. It is based on a novel algorithm, which is numerically stable (1). Numerical results show that it gives comparable accuracy to the truncated singular value decomposition method, yet it is about one to five times faster.

Reference

1. Abdelmalek, N.N. An algorithm for the solution of ill-posed linear systems arising from the discretization of Fredholm integral equation of the first kind. J. Math. Anal. Appl. 97: 95–111; 1983. NRC 22923.

[1]Biokinetics and Associates Ltd., Ottawa, Ontario.
[2]Student.

■ Photonic Components for Data Processing and Sensing

■ J. CHROSTOWSKI – S. BOOTHROYD – P. MAIGNÉ – M. O'SULLIVAN

Photonics is the technology of generating and using light in detection, diagnostic, communication, and information processing systems. This technology includes light generation, transmission, deflection, amplification, detection, and recording and covers lasers and other light sources, fiber optics, electro-optical instrumentation, and optical components and instrumentation. Photonic systems offer immense advantages and possibilities in a variety of systems that currently use electrical signals.

The current activities of the Photonics and Sensors Section deal with only a small portion of this vast domain. The present research focuses on several components for laser vision systems, leading towards all-optical or electro-optical data processing elements for these systems in the future. The same photonics technology can be applied both for sensing and data processing; thus, part of our effort is devoted to the development of sensors.

The main activities in 1987–1988 were development of the components for the new eye-safe laser 3-D camera, photonic probes for electric field measurements (in collaboration with the Power Engineering Section of DEE and the Department of Electrical Engineering — Telecommunication Research Institute of Ontario — at the University of Ottawa), and exploratory research in optical spatial light modulators for all-optical image processing.

Optical Processing and Optical Switching ■ J. CHROSTOWSKI – M. O'SULLIVAN – S. BOOTHROYD

Two-dimensional spatial light modulators (SLM) are the key elements of optical data processing and computing systems. Such modulators are being developed to be used as input–output devices, processors, memories, or any combination of these functions. In the context of machine vision the main interest lies in the ability of such devices to perform in parallel various functions such as image thresholding, addition and subtraction, edge enhancement, correlation and convolution, and binary logic operations, all of which are cumbersome and time-consuming on the electronic computer. Spatial light modulators optimally should be addressable optically with high space-bandwidth products to be used for optical computing, optical neural networks, or dynamic optical interconnects for computers. However, for other less-demanding applications (like robot vision) hybrid electronically addressed SLMs, e.g., liquid crystal devices, can be used.

In this context an optical method for the segmentation of 3-D range images is under investigation. A sinusoidally encoded range image is projected onto a liquid crystal television screen which spatially modulates the intensity of a He–Ne laser beam. Planes in the encoded range image produce localized regions of intensity in the Fourier spectrum which is obtained by means of a lens. A second lens is used to reconstruct the image. Thus, a 3-D object can be segmented into its constituent planes by selectively reconstructing features occurring in the Fourier plane. Figure 4 displays results obtained to date, including the reconstructed sinusoidally encoded range image, its Fourier spectrum, and the selective reconstruction of several planes using different aperture positions in the Fourier plane.

This processing gives relative positions and angles between planes observed in the range image, thereby providing compact information about objects in the image which is independent of scale and rotation and which may be used in the process of recognition. A technique to allow a realtime analysis of the Fourier spectrum and segmented image is being considered.

One of the most attractive processes for all-optical parallel switching is phase conjugation (PC), a nonlinear optical process generating optical waves by mixing of two or three other beams within a crystal. Interest in this process has been stimulated recently since one of the features of the phase conjugate wave is its ability to remove aberrations from an optical system (Fig. 5). This effect is particularly important for the propagation of high power laser light and nondestructive testing of materials.

The main thrust of our work last year was in the choosing of the most suitable crystal. Several

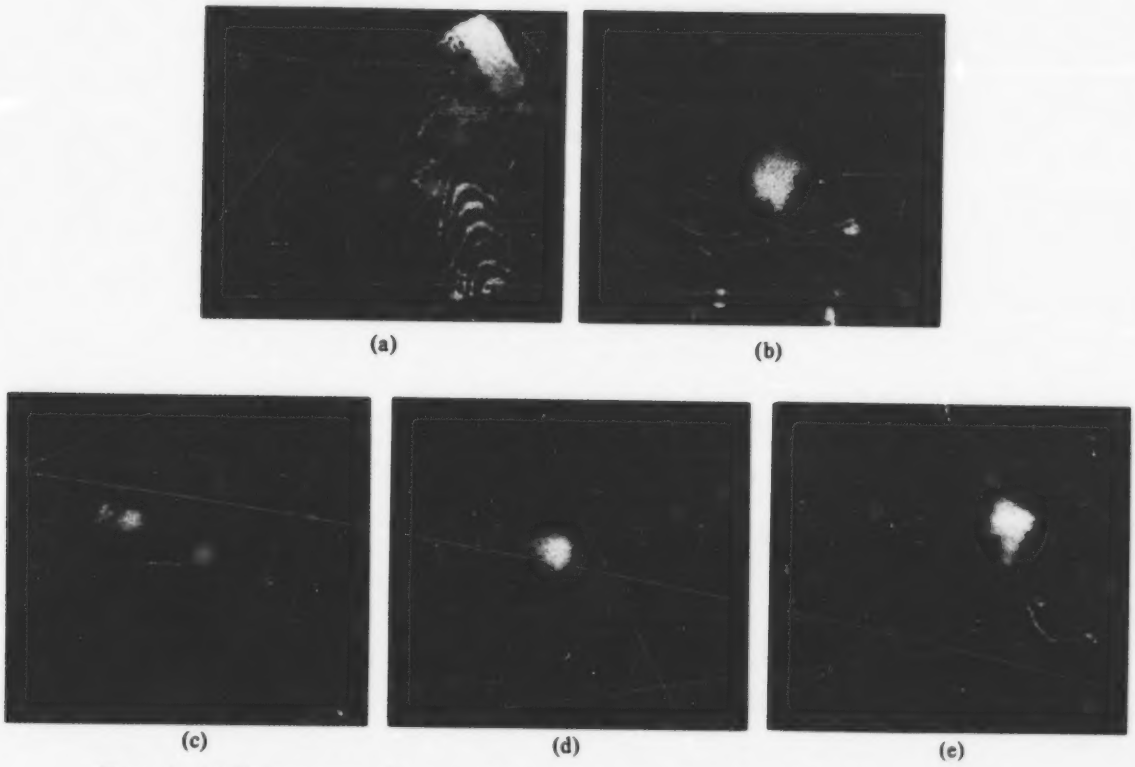


Figure 4 (a) Reconstruction of a sinusoidally encoded range image whose Fourier spectrum is shown in (b). The segmentation of objects into constituant planes, as shown in (c), (d), and (e), is performed by selective reconstruction of components of the Fourier spectrum.

schemes have been tested for possible use for pattern recognition in 3-D vision systems. Figure 6 shows the operation of realtime image subtraction using phase conjugation in ruby crystal.

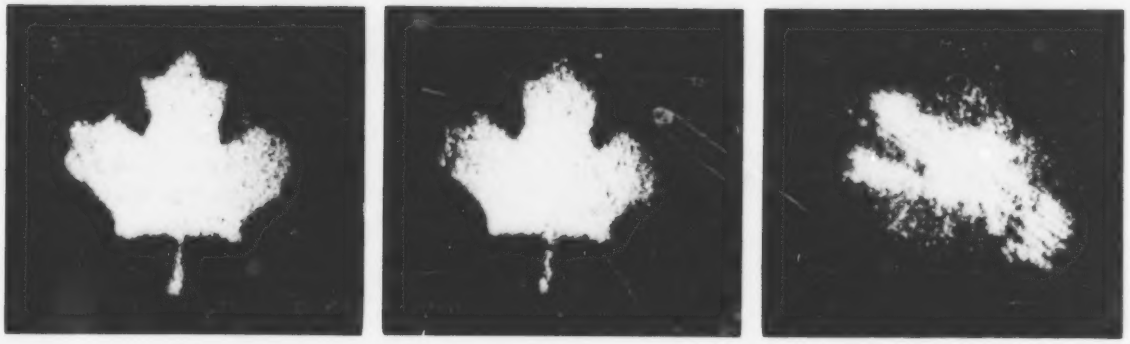
Nonlinear Optical Waveguides ■ J. CHROSTOWSKI – S. CHELKOWSKI[1] – M. FONTAINE[2] – A. RAWICZ[1]

The nonlinear interactions in planar or channel waveguides offer another method of realtime optical signal processing. Confining the light within guides with transverse dimensions comparable with the wavelength of light assures maximum power densities and strong nonlinear effects. Furthermore, these high fields can be maintained for long propagation distances (centimetres in the case of thin film or channel waveguides, and metres or kilometres for optical fibers). Thus, the high fields and long phase-match distances required for efficient interactions can be achieved with modest or low total powers.

The numerical analysis of the nonlinear waveguides in GaAs and InP has been carried out. The electric field distribution within the rib waveguide in GaAs has been analyzed, where the substrate has so-called Kerr nonlinearity. Very small changes in the intensity of light (milliwatt range) can introduce changes in the propagation constant such that it is possible to efficiently switch light on/off or from one channel to the other. Computer simulations suggest that such a nonlinear coupler can implement two-dimensional arrays in all-optical neural networks.

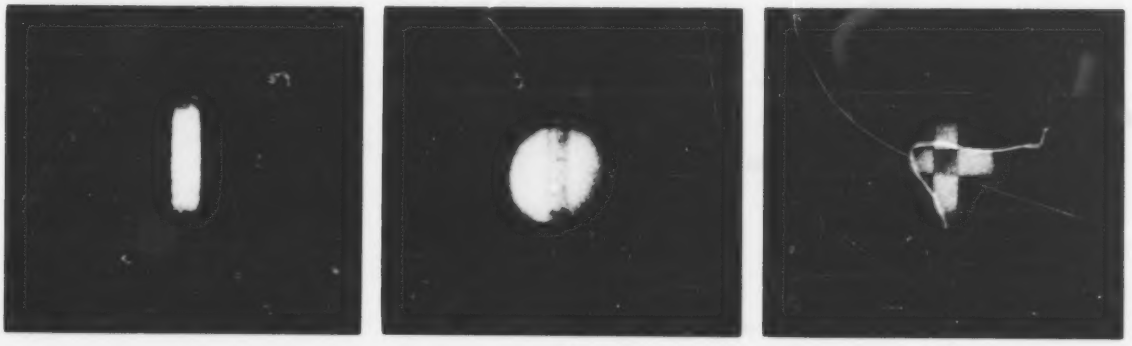
Another project includes preliminary work on a new very attractive material, the KTP crystal (in

[1]Temporary assistant until March 1987.
[2]Guest worker.
[3]Andrew Engineering Inc., Vancouver, British Columbia.



(a) (b) (c)

Figure 5 A phase distorting element is invisible when seen in front of a phase conjugate mirror: (a) phase conjugate image; (b) phase conjugate image seen through a phase distorting element; (c) reflection of the maple leaf pattern from a conventional mirror and through the same distorting element as used in (b).



(a) (b) (c)

Figure 6 A Michelson interferometer with two phase conjugate mirrors is used to achieve image subtraction. (a) image from one interferometer arm; (b) the image in (a) is subtracted from the beam in the other arm; (c) subtraction occurs where two images overlap.

collaboration with Andrew Engineering Inc., MacDonald Dettwiler and Associates Ltd., and Simon Fraser University) for possible use in guided wave second harmonic generation. It is expected that it may lead to an efficient scheme for a blue, solid state, diode laser pumped source, which is very important for direct laser writing applications such as optical memories and laser printing.

Photonic Probes for Electric Field and High Pressure Sensing

■ J. CHROSTOWSKI – R. GAUTHIER – G. HARTSGROVE[1] – W. BOCK[1]

Work continued (*Bulletin* (Vol. 3, No. 1)) on the development of components of lithium niobate for sensing of electric field transients such as those produced by lightning. Part of this technology is being transferred to the Avionics Division of Canadian Marconi Company and the Department of Electrical Engineering of the University of Ottawa. A recently tested new technology for making waveguides in lithium niobate by proton exchange from pyrophosphoric and benzoic acids has been

[1]Guest worker.

used for producing on-substrate polarizer. The results were presented at the SPIE Conference in San Diego, California.

A 150-MHz fiber-optic link has been implemented as an electric field sensor with remote power supply switching for the Power Engineering Section.

The collaboration with the University of Quebec in Hull on the development of the high pressure (1000 atm) sensor led to the first prototype of a fiber lead-through to the high pressure chamber and initial testing of the sensor components.

Eye-safe Operation of 3-D Laser Camera

■ P. MAIGNÉ – M. O'SULLIVAN – R. GAUTHIER – J. CHROSTOWSKI

An increase in speed of image acquisition in laser-based systems is linked with the unavoidable increase in power of the laser. The problem is particularly important for the laser used on the factory floor, where eye safety is of paramount importance. The solution of this speed/laser power dilemma is a shift of the laser operating wavelength to the eye-safe region of 1.5 μm. This wavelength range also corresponds to the minimum loss range of fiber optics and offers access to various components developed for telecommunication. However, as of now, both laser and position sensors suitable for 3-D vision sensors are not commercially available. Thus, activities have begun towards the development of these optical components to enable operation of the 3-D laser camera in the eye-safe 1.5 μm spectral range. These follow two lines: the first is the development of a fast lateral effect InGaAs photodiode, the second is the development of a high power fiber laser. The prototype of such a laser will be implemented from the special fiber samples received from AT&T Bell Laboratories.

With regard to the first area of activity, work has essentially concerned the design of the photodetector structure in an attempt to minimize parasitic currents. This limitation is dictated by a very weak incident optical power. The structure chosen also minimizes the response time and allows data acquisition at video rate.

The materials forming the photodetector are the semiconductors indium phosphide (InP) and gallium and indium arsenide (InGaAs). Negotiations are under way with a Canadian company for their manufacture.

The basis of this photodetector is the photolateral effect. The incident light beam creates electron–hole pairs in the absorbent region which are shifted out of this zone by the electrical field. This transverse displacement of the charges creates a local variation in the potential barrier, which results in a lateral shift in the charges. The intensity of the collected currents is proportional to the incident position of the light beam on the photodetector.

The physical properties of an equivalent structure, from Epitaxx Inc., were analyzed by various characterization techniques (X-ray diffraction, capacity-tension measurements, etc.).

To test the performance of the structure, two experiments were set up: one measures the sensitivity of the photodetector and the other checks the linearity of the response (measured currents) as a function of the incident position of the beam. These two experiments are run by computers. The parasitic currents and current-tension characteristics of the samples will also be measured. Certain measurements are made possible through the cooperation of the Laboratory for Microstructural Sciences of the Division of Physics.

The laser lithographic facility (*Bulletin*, Vol. 2, No. 6) has been modified for use in light beam induced current measurements and scanning of the detectors.

Investigation of the Structural Properties of Superlattices

■ P. MAIGNÉ

Photodetector design increasingly involves superlattices, which are stacks of extremely thin layers

of semiconductors. These new structures allow very precise control of absorption lengths and offer extremely high levels of sensitivity. These properties are very responsive to the thickness and composition of materials. The properties of InGaAs/GaAs superlattices were examined by X-ray diffraction, in cooperation with the Chemical Physics Section of the Laboratory for Microstructural Sciences.

Exotic Materials Polishing Facility

■ A. DUFOUR – J. CHROSTOWSKI

This two-year-old facility consists of ultra-high quality versatile "Logitech" polishing equipment which allows polishing of crystals, laser rods, and fibers in various fixtures and shapes. It is located in a clean room with fume exhaust which is necessary, in particular, for the preparation of thin and ultra-thin semiconductor wafers. The main applications are integrated and fiber-optic devices. Examples of the work performed include: polishing of lithium niobate crystals for the Canadian Marconi Company and University of Ottawa, development of a procedure for polishing cadmium telluride crystals for the Chemical Physics Section of the Division of Physics, polishing of Si/Ge and GaAs crystals for the Molecular Beam Epitaxy Section of the Division of Physics, and development of a polishing procedure for bismuth germanate crystals for the University of Quebec in Hull.

RECENT PAPERS — PHOTONICS AND SENSORS SECTION

Published

- ☐ ABDELMALEK, N.N. A computer vision system for matching 3-D range data objects. NRC/ERB-995, September 1987. 98 pages. NRC 28053.
- ☐ BERALDIN, J.-A. Détecteurs optiques à l'état solide pour la vision tridimensionnelle. Proceedings of Symposium: L'optoélectronique, Ste-Foy, P.Q. May 26–27, 1987. pp. 113–147. (Invited.) NRC 27960.
- ☐ BERALDIN, J.-A., BLAIS, F., RIOUX, M., AND DOMEY, J. Signal processing requirements for a video rate laser range finder based upon the synchronized scanner approach. Proceedings of SPIE, Optics, Illumination and Image Sensing for Machine Vision II, Cambridge, MA. November 1987. Vol. 750, pp. 189–198. NRC 28113.
- ☐ BLAIS, F. Control of low inertia galvanometers for high precision laser scanning systems. Opt. Eng. 27(2): 104–110, 1988. NRC 28513.
- ☐ BLAIS, F. High precision control of galvanometer scanner. SPIE's 31st Symposium on Optical and Optoelectronic Science and Engineering, San Diego, CA. August 16–21, 1987. Vol. 817, pp. 8–16. NRC 28048.
- ☐ BLAIS, F., AND RIOUX, M. Real-time data acquisition algorithms and implementation for 3-D vision. SPIE's 31st Symposium on Optical and Optoelectronic Science and Engineering, San Diego, CA. August 16–21, 1987. Vol. 829, 72–79; 1987. NRC 28049.
- ☐ BLAIS, F., RIOUX, M., AND DOMEY, J. Three-dimensional cameras for robotic applications and inspection. Defence Research Establishment Pacific/Royal Roads Military College Robotic Applications Workshop, Victoria, B.C. August 11–14, 1987. p. 8. NRC 28050.
- ☐ BOULANGER, P., AND RIOUX, M. Segmentation of planar and quadric surfaces. SPIE Conference, Advances in Intelligent Robotics Systems, Boston, MA. November 1–6, 1987.
- ☐ CHELKOWSKI, S., AND CHROSTOWSKI, J. Scaling rules for waveguides with nonlinear substrate. Appl. Opt. 26(17): 3681–3686; 1987. NRC 27907.
- ☐ CHROSTOWSKI, J., AND CHELKOWSKI, S. Analysis of an optical rib waveguide with a nonlinear substrate. Opt. Lett. 12(7): 528–530; 1987. NRC 27958.
- ☐ DOMEY, J., AND BURTNYK, N. 3D vision for robotics and automation. Proceedings of the Canadian Engineering Centennial Convention, Montreal, P.Q. May 18–21, 1987. pp. 8.3.1–8.3.13. NRC 27959.

- ☐ Gauthier, R.C., Paton, B.E., Chrostowski, J., Fontaine, M., and Cada, M. Integrated optic variable polarizer. Proceedings of Integrated Optical Circuit Engineering V, San Diego, CA. August 17–20, 1987. SPIE Vol. 835, Paper No. 835-07. NRC 27974.
- ☐ Kadamani, R., and Abdelmalek, N.N. An interactive program on the IIS display for an adaptive system for matching 3-D range data objects. NRC/ERB-1010, December 1987. 58 pages. NRC 28564.
- ☐ Kasvand, T., Oka, R., Dhome, M., and Rioux, M. Object detection and recognition from 3D camera images. Microcomput. Appl. 5(2): 55–58; 1986. NRC 29129.
- ☐ Legendre, J.P. An optical fibre sensor of the concentration of urea solutions. NRC/ERB-1007, August 1987. 7 pages. NRC 28272.
- ☐ Rioux, M., Bechthold, G., Taylor, D., and Duggan, M. Design of a large depth of view three-dimensional camera for robot vision. Opt. Eng. 26(12): 1245–1250; 1987. NRC 29130.
- ☐ Shi, J., Monchaud, S., Prat, R., and Domey, J. 3D object localization and automatic tracking. Proceedings of the 7th International Conference on Robot Vision and Sensory Controls, Zurich, Switzerland. February 2–4, 1988. pp. 197–207. NRC 28747.

Presented

- ☐ Blais, F. Réalisation pratique de caméra de vision de formes tridimensionnelles. 55e Congrès de l'Association canadienne française pour l'avancement des sciences (ACFAS), Ottawa, Ont. May 19–22, 1987.
- ☐ Boulanger, P. Les circuits neuroniques et leurs applications. Séminaire d'intelligence artificielle, École Polytechnique, Montreal, P.Q. October 20, 1987.
- ☐ Boulanger, P. La vision stéréo. École Polytechnique, Montreal, P.Q. November 25, 1987.
- ☐ Boulanger, P. Neural networks and their applications. McGill University, Montreal, P.Q. November 26, 1987.
- ☐ Boulanger, P., and Hunter, D. Report on IEEE First Annual International Conference on Neural Networks. NRC/DEE Science Assocation, Ottawa, Ont. July 22, 1987.
- ☐ Boulanger, P., and Hunter, D. Neural network for the Space Station project. Spar Aerospace Limited, Toronto, Ont. July 27, 1987.
- ☐ Chrostowski, J. Guided-wave optical devices. Department of Electrical Engineering, University of Ottawa, Ottawa, Ont. November 26, 1987.
- ☐ Domey, J. Les capteurs de vision 3-D et leurs applications. 55e Congrès de l'Association canadienne française pour l'avancement des sciences (ACFAS), Ottawa, Ont. May 18–22, 1987.
- ☐ Domey, J. Capteurs de vision 3D. Laboratoire d'application des techniques électroniques avancées, Institut national des sciences appliquées, Rennes, France. September 17, 1987.
- ☐ Domey, J. Vision tridimensionnelle. Institut de recherche en informatique et systèmes aléatoires, Rennes, France. October 30, 1987.
- ☐ Domey, J. 3-D vision at NRC. University of Hull, Electronics Engineering Department, Hull, England. November 3, 1987.
- ☐ Domey, J. 3-D vision sensors. Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, Stuttgart, Germany. December 7, 1987.
- ☐ Fontaine, M., and Chrostowski, J. Calcul de constantes de propagation pour un guide d'onde planaire à cinq couches avec indices de réfraction réels et imaginaires. 55e Congrès de l'Assocation canadienne française pour l'avancement des sciences (ACFAS), Ottawa, Ont. May 18–22, 1987.

Patent

- ☐ Bouchard, C., and Boulanger, P. Particle detector. U.S. Patent No. 4,680,468, July 14, 1987.

ROBOTICS AND AUTOMATION SECTION

Section Head — M.A. Barakat

■ Introduction

The Robotics and Automation Section of the Laboratory for Intelligent Systems is a new section established less than two years ago. It is located at the Canadian Institute of Industrial Technology in Winnipeg, Manitoba.

The Section conducts research in direct support of industry, in cooperation with partners from industry and universities. The main program areas are:

- robotics: applied research and development on advanced robotic systems that can adapt to uncertainties in their work environment
- industrial automation: applied research and development in the area of computer-integrated production and testing
- knowledge-based systems: development of knowledge-based systems in the areas of expertise of industrial partners

The research is related to industrial sectors such as manufacturing, processing, health automation, and resource exploitation. Projects of the Section will draw on existing expertise in the Laboratory for Intelligent Systems, other Laboratories within the Division of Electrical Engineering, and other NRC Divisions.

■ Robotics

Expert Off-line Programming System for Robotic Painting

■ P. ORBAN – G. SAWATSKY

Robotic painting cells free human workers from tedious and potentially harmful labor, while providing consistent quality in the painting process. One of the many challenges facing the system designer and, eventually, the user of such a system is the creation of good robot programs. The robot program which moves the spraying nozzle must have all the expertise a human painter would have: knowledge of the surface, knowledge of the paint and gun features, and painting techniques to coat irregular surfaces like corners, edges, etc.

The usual way of programming a robotic paint cell is to "teach" the robot the painting procedure by emulation of a human painter. One of the limitations of this method is that it is not economical for jobs with low volume. The desired way of producing and verifying robotic painting is by off-line programming.

Vadeko International Inc. and the Robotics and Automation Section are working jointly on a project to automate the programming of robotic painting. The project sets up the framework for a computer-aided robotic painting cell programming system. Figure 1 is a block diagram of the expert off-line programming system for robotic painting (EPS).

The expert off-line programming system is conceived as a collection of modules that share a central database. Some of the modules will be at least partially commercially available while others require considerable research and development. In the first phase, the project will focus on two key modules, the trajectory planner and the paint deposition simulator. The integration of these two modules into an existing CAD/robot simulator package will be addressed as well.

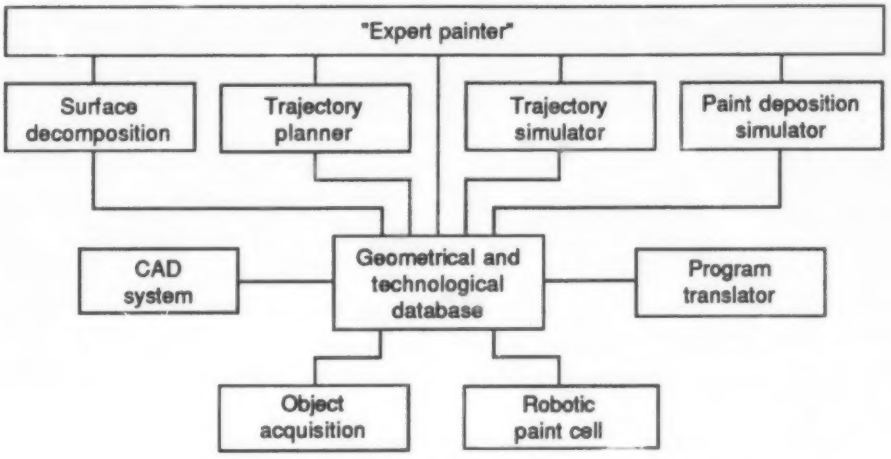


Figure 1 An expert off-line programming system for robotic painting.

Robotic Welding Using Three-dimensional Vision

■ P. CHARTIER

The welding research project is in its initial stage. At present, the chief concern is the planning of this project. The Canadian Institute of Industrial Technology has obtained the equipment needed for experimentation and this equipment is now functional. The personnel assigned to the project have familiarized themselves with actual welding processes and will soon begin the experimentation stage. This stage includes using 3-D vision in multipass welding and developing an improved system for programming sensor-based robots.

In this field, the existing solutions still tend to be empirical, and the results unconvincing. The long-term objective of this project is to develop a production cell which is as self-contained as possible. A task will therefore be described according to the various features of the work to be done and the programming details will be handled by the system itself.

To reach that point, the problem as a whole must be examined, including those aspects which have more to do with metallurgy than with monitoring, since the ultimate goal is a self-adapting system.

■ Industrial Automation

Advanced Automation for Surface Inspection

■ S.F. EL-HAKIM

The objective of the project is to develop an advanced automated processing system for surface inspection. The system must automatically extract the defects from an object-surface image, identify the type of each defect, assign a degree of severity, and then accept or reject the object. There is a high demand by users of the manual surface inspection system available commercially for such an automated system.

Two routines have been developed. A "teach" routine allows an operator to select a possible defect on a sample surface by simply answering a yes-or-no question for each extracted feature. Afterwards, any similar defect on another surface will automatically be detected by the second routine, which is a "find" routine (see Fig. 2).

Areas of application are sheet metal flaws such as dents and dings, plastic surface blemishes, paint finish irregularities, and glass imperfections. Inspection of imperfections on any other surface that is reflective or can be made reflective may be a candidate for this system.

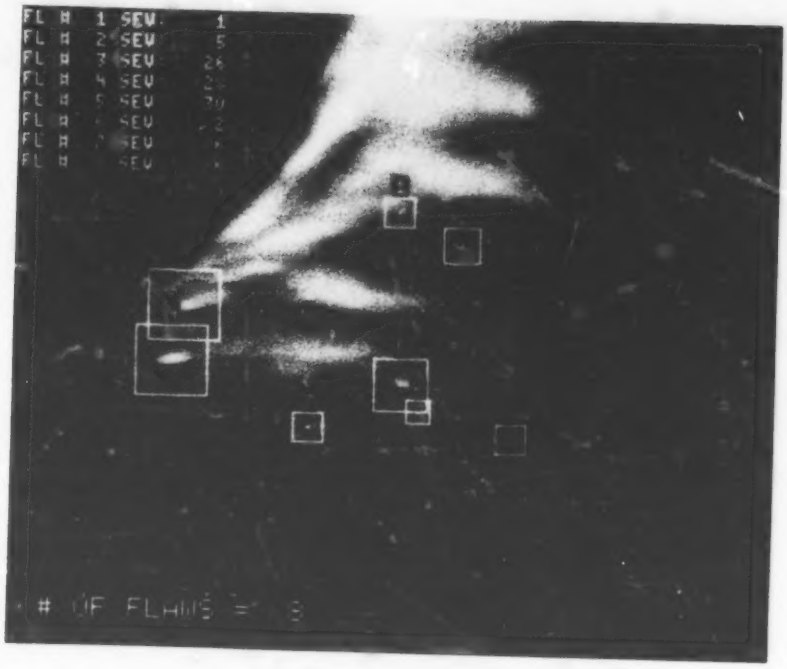


Figure 2 Automatic detection of surface defects.

Passive Stereo Vision

■ S.F. EL-HAKIM

This approach to 3-D vision uses two or more sensors and is based on stereo disparity, much like human vision. Figure 3 shows a block diagram of the system. This technique has inherent rapid data recording of the entire object field (scanning is not required), has a simple data acquisition system (no mechanical components), and provides high accuracy for objects of sizes ranging from a few millimetres to hundreds of metres. This technique is also suitable when active illumination is not allowed or when the points to be measured are specific features or locations (targets) on the object.

Until recently, the main problem in passive stereo vision has been in the area of matching of corresponding points in the two images. However, significant progress has been made in the past few years and the only cases where there is now difficulty are those where human vision experiences difficulties as well. Multiple viewing, instead of the human-like two-camera approach, can improve the matching, although the limited depth of field of the cameras is still a problem for this technique.

The achievable accuracy, using 256 pixel × 256 pixel resolution, is about 0.05 of a pixel or 1:5000 (0.1 mm on an object 0.5 m in length or width). However, much better accuracy, of about 1:20000, is expected with 512 pixel × 512 pixel resolution with extensive modeling of camera errors and the use of high quality lenses.

Areas of applications are mainly precise measurement of specific object points for quality control (Fig. 4), measurement of moving or fast-changing objects, and medical, space, and military applications. In the Robotics and Automation Section this vision system is being used for two projects. The first is to develop an advanced automated processing for surface inspection. It must automatically extract the defects from the object surface, identify the type of each defect, assign a degree of severity,

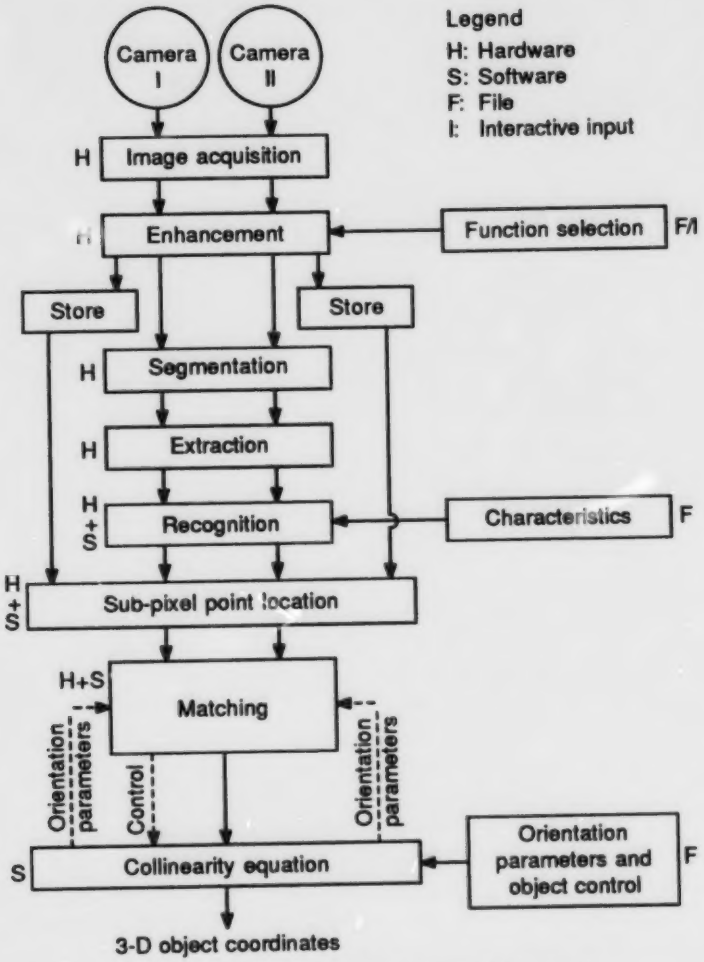


Figure 3 Block diagram of the stereo vision system.

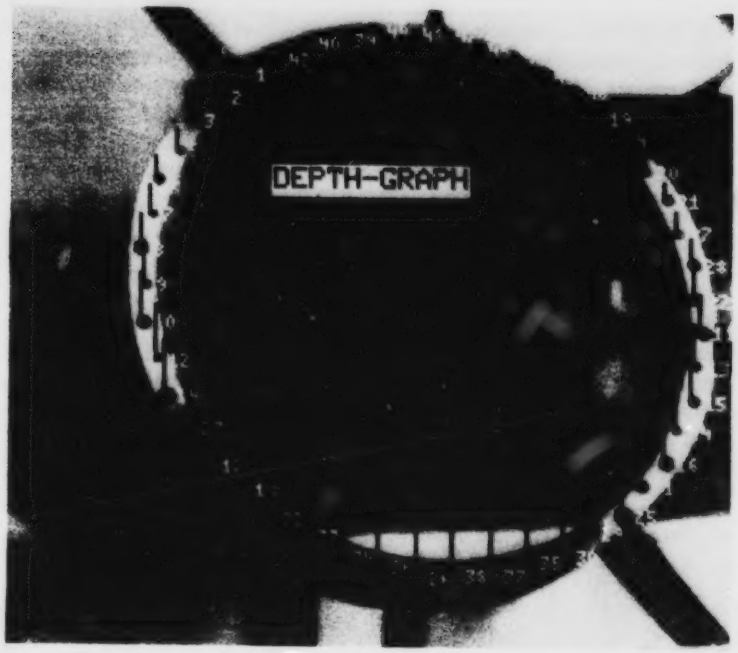
and then accept or reject the object. In the second project, the vision system is employed as part of an on-machine dimensional inspection system that is CAD compatible and would permit inspection at each critical stage of the manufacturing process.

Grain Elevator Automation

■ G. NEILSON

Automation of country grain elevator operations has become an important goal of a number of companies in the grain industry in recent years. Larger companies have developed initial systems on off-the-shelf platforms which perform many of the accounting and inventory management tasks required.

Unfortunately, these original platforms were not well-suited to the grain elevator working environment. Typical environmental conditions include inconsistent power sources, high and low temperature and humidity extremes, high levels of airborne particle contaminants, and destructive tampering by animals (mice, rats). Furthermore, the original platforms have a variety of technical constraints that



1	34.58	245.31	-99.66
2	19.65	229.14	-92.37
3	1.79	215.13	-87.89
4	283.06	210.99	-98.06
5	-8.27	195.80	-79.21
6	-21.20	178.29	-72.26
7	-25.62	157.22	-64.12
8	-33.03	136.35	-56.27
9	-31.53	115.17	-47.07
10	-33.15	93.19	-39.89
11	318.51	87.68	-52.76
12	-25.82	72.65	-31.48
13	311.28	66.69	-44.95
14	-21.49	51.38	-23.55
15	306.63	45.56	-36.47
16	293.58	8.07	-21.61
17	1.55	13.11	-11.22
18	19.29	-1.18	-5.19
19	265.61	225.50	-101.74
20	293.22	191.27	-90.61
21	306.29	173.05	-83.08
22	317.11	108.92	-61.12
23	-8.68	33.31	-16.95
24	293.35	27.82	-29.37
25	250.24	-22.05	-8.76
26	118.93	-52.39	8.16
27	311.09	151.15	-76.45
28	318.77	130.92	-69.09
29	229.56	-31.11	-4.16
30	210.30	-43.02	-0.10
31	265.58	-5.51	-15.07
32	34.27	-18.14	-0.26
33	54.36	-28.36	2.91
34	74.37	-40.52	6.26
35	187.40	-46.53	3.76
36	97.06	-45.62	7.04
37	165.57	-53.51	6.97
38	142.13	-52.13	7.44
39	97.89	270.04	-110.94
40	74.59	266.66	-109.40
41	210.34	264.17	-113.72
42	55.61	254.62	-103.66
43	229.43	252.00	-110.94
44	119.51	276.48	-114.93
45	187.54	268.65	-115.87
46	250.35	242.03	-106.68
47	165.47	275.63	-116.08
48	143.22	275.07	-114.41

Figure 4 Three-dimensional coordinate measurement with stereo vision.

reduce their effectiveness. They were developed when wide-area networking technology was in its infancy with few standards requiring custom development and few database standards or tools existed which would facilitate application development and maintenance. In addition, advances in sensor technology and operations methodology have made it possible to increase the level of automation at each elevator, moving towards the ultimate goal of efficient, standardized handling of grain nation-wide.

The specific objectives of this project are to identify a target computer system suitable for the economic and environmental constraints of the country grain elevators, to port an existing grain elevator management application to this target system, to identify, design, and incorporate sensors and methods to provide additional functionality, and to adapt the packaging of the target system for the specific environmental conditions. Our industrial partners on the project are Digital Equipment of Canada Ltd. and The Pioneer Grain Company, Limited.

Feasibility Study of a Robot-based Coordinate Measuring Machine

■ G. The – P. Orban – C. Neilson – B. Van den Berg[1]

Maintaining and improving the quality of products in an automated machine shop is an ever-important requirement. Generally, off-line coordinate measuring machines (CMMs) are used for these tasks. Coordinate measuring machines provide the required accuracy and flexibility, but they are expensive and require a long setup time.

Another way to improve quality assurance is to check the accuracy of parts on-line on the machine fixture during the actual machining process. The equipment required to achieve this goal would be a stand-alone, machine-attachable, affordable, and accurate coordinate measuring machine.

The National Research Council has been working with an industrial partner on a project to evaluate the feasibility of implementing a system that uses a commercial industrial robot to act as a CMM.

[1]Division of Mechanical Engineering, National Research Council of Canada.

An ASEA 5-axis robot (IRB L6/2) with a Renishaw PH1 touch probe mounted at the end effector of the robot is being used for the project. The robot is connected to a VAX-based host computer system. A collection of functions has been designed and implemented to remotely manipulate and control the robot. Coordinate measuring machine functions such as point, line, plane, circle, and sphere calculations were designed and coded on the VAX computer. These software functions were implemented with the cooperation of the Manufacturing Technology Centre of the Division of Mechanical Engineering, NRC. By using the available functions a user can construct an application CMM program to measure a variety of objects.

Currently, measurements are being taken with our CMM and the accuracy is being evaluated.

Development of an Industrial Automated Guided Vehicle System

■ P. ORBAN – G. SAWATSKY

Industry is increasingly using automated guided vehicle (AGV) systems for its material handling needs. To meet this need, AGV companies are continually improving their AGVs to remain competitive and offer industry flexible, efficient, and safe material handling solutions. With the participation of FMC of Canada Ltd., this project is looking at ways to improve the performance and services provided by AGV systems.

Areas of improvement being considered are system controller design, increased local "intelligence" of the vehicle with powerful on-board computers and sensors, and improved communication and guidance systems for the vehicle. In addition, an AGV system is often viewed as an engineered system and not an off-the-shelf item, thus there is room for improved AGV system design methodology to reduce engineering costs.

Computer-aided Software Engineering

■ S.F.J. WILK

The objective of this project is to develop an automated environment for software engineering oriented towards the development of industrial and scientific applications and based around the ABL/SOS/J-Maps design methodology originated at Concordia University in Montreal as further developed by SYSLOG Inc. In particular, the project is aimed at re-implementing and enhancing the CASE prototype to provide increased flexibility, functionality, and portability.

During the fall of 1987, software and hardware were acquired and the tasks covered by the project defined. They include extraction of existing system source code and conversion to C language; modeling of selected system components using the CASE prototype; user interface prototyping and development; transfer of the system to selected hardware target environments (MS-DOS, OS/2, Macintosh, UNIX, XENIX, VMS); provision of networking and multitasking features; integration of data dictionary facilities; development and integration of system-level editing facilities; enhancement of analysis and verification facilities; provision of features for extraction of components and modeling of pre-existing source codes; development of an interface with selected complementary CASE systems, e.g., KnowledgeWare, Excelerator, etc.

Computer-aided Scheduling Systems

■ C.J. WU – H. LIONTAS – J. ALLSTON – P.W.U. GRAEFE[1]

Most of the commercially available computer-aided scheduling systems are designed for job shops or equivalent job shop facilities. Such systems generally include a scheduling program, some reporting programs, and a simulation program (e.g., FAM system developed by ICAM Technologies in conjunction with the Division of Mechanical Engineering, NRC). There are many medium-sized manufacturing facilities ($10 to $200 M revenue per year) such as softgoods manufacturers and steel rolling mills, which require specialized scheduling systems. The purpose of this project is to develop scheduling

[1]Division of Mechanical Engineering, National Research Council of Canada.

systems for those particular manufacturing sectors and to introduce the computer-integrated manufacturing concepts to the facility.

In the case of steel rolling mills, the scheduling problem is to find an optimum sequence under the constraint of minimum setup time for a single machine. The setup time depends upon the previous setup and the tool being used. New tools are continuously added to the facility and new products are developed constantly so that the optimum sequence may change from time to time. A general optimization program based upon the travelling salesman algorithm is under development.

The scheduling problem for the softgoods manufacturers generally involves one to three machines feeding multiple machines which have 100% utilization factor. Because of the dynamic nature of this industry, short production period, large variety of products, the constant changing environment, etc., data used for the scheduling purpose are changing daily. The scheduling program to be developed includes a comprehensive input data system, a scheduling/loading program, and a management reporting program. The loading is done automatically with the user's approval.

■ Knowledge-based Systems

Thromboembolism Detection System for Elective Hip Surgery

■ N. Pizzi

This project entails the development of an artificial intelligence system capable of analyzing case histories of patients undergoing total joint replacement in order to subsequently form medical generalizations about the possible occurrence of post-surgical thromboembolisms.

Many medical inferences are de facto generalizations because of the statistical commonality of the histories of patients who have undergone similar medical treatments. These generalizations are based on the statistical analysis of hard (quantifiable) medical data. On the other hand, qualitative medical data usually do not sufficiently conform to rigorous statistical analysis. Nevertheless, this type of data is often invaluable for proper diagnosis.

This system will take this qualitative data and use inductive artificial intelligence techniques to form medical generalizations which can later be used by physicians in diagnosing future patient ailments.

Expert System for Detection of Tonsillectomy/Adenoidectomy Bleeding Disorders

■ N. Pizzi

This project involves the development of an expert system which determines the probability that a prospective tonsillectomy/adenoidectomy patient has some type of bleeding disorder.

A patient with an undetected bleeding disorder (e.g., hemophilia) is at high risk when undergoing a tonsillectomy or adenoidectomy. These patients often require follow-up surgery to rectify problems that would not have arisen if they had been properly diagnosed. Medical tests exist which can determine whether or not a patient has a coagulation problem but it would be prohibitively expensive to conduct these tests for every tonsillectomy/adenoidectomy patient.

The current system involves the filling out of a questionnaire which the physician/surgeon evaluates. A patient who answers positive to a number of key questions is sent to the coagulation laboratory for tests prior to surgery.

The proposed system will perform a number of tasks. First, the questionnaire will be automated, which will remove the errors, inconsistencies, and omissions to which the original system was prone. Second, the results of the questionnaire will be passed to an expert system which will determine the appropriate risk category of the patient. Finally, a database of patient histories will be maintained

which will subsequently be used to enhance the decision-making capabilities of the expert system (Fig. 5).

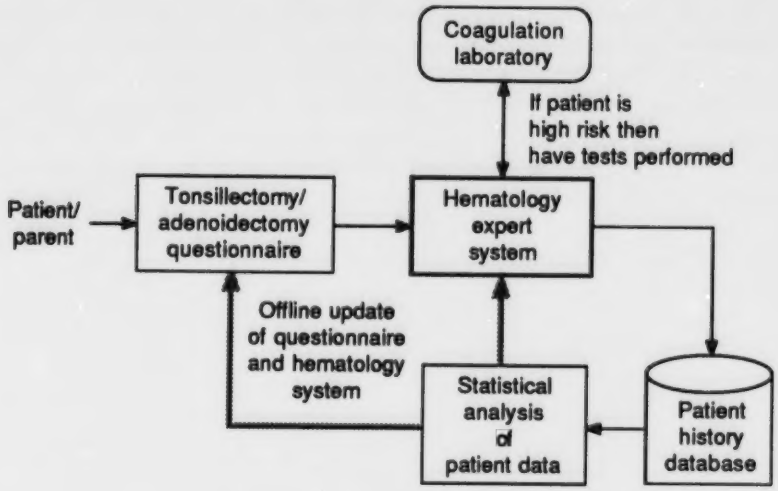


Figure 5 Hematology expert system layout.

Oncology Treatment Management System

■ N. Pizzi

A proof of concept for an expert system which will generate cancer patient treatment plans based on a series of oncology protocols has been completed.

The current system uses a program where certain oncology patients are placed within a study cell so as to study the efficacy of various radiation treatments and chemotherapy on different types of cancer. These patients are selected by means of extensive eligibility criteria (including statistical randomization) and are then treated based on a plan known as a protocol. Protocols are both prescriptive and descriptive — they lay out a specific treatment plan for a single type of cancer and they are used to generate new and better treatment plans for future patients. There are hundreds of different protocols available and the eligibility criteria and treatment course vary dramatically from one to another.

The proposed system involves two major steps. First is to develop an expert system which will structure a patient treatment plan in a format that simplifies the present arduous task of administering this plan by a remote medical center. Second, this expert system will generate an appropriate treatment plan based upon the eligibility criteria laid out in the various protocols to determine the suitability of a patient candidate for some particular oncological treatment protocol.

Quantificational Logic Expert System

■ N. Pizzi

This project involves the development of an expert system which will use natural proofs to determine the validity of arguments in predicate calculus.

Techniques currently exist (such as resolution) which provide an effective decision procedure to determine the validity of arguments using predicate calculus where arguments are reduced to their conjunctive normal forms. However, these decision procedures have some theoretical limits (for example, the Skolemisation of universal quantifiers where domains are nondenumerable or infinite).

The proposed system will incorporate the expertise of a logician in the determination of validity of any given argument in predicate calculus. The natural proofs to be used will be a series of applications of classic "natural" inference rules that a logician would have normally used (Constructive Dilemma, Absorption, Modus Tollens, Indirect Proof, etc.).

Development of an Expert Scheduling System for Softgoods Manufacturers ■ G. SAWATSKY

Scheduling systems development is a large area of research, with many products developed. However, Canadian clothing manufacturers do not commonly use computer-based systems for their scheduling needs. Some of the reasons given for this are the seasonal nature of the business, the fashion importance, the dynamic environment with respect to customer and supplier lead time requirements, and difficulty in maintaining accurate data. Thus it is felt by some in the industry that a custom expert scheduling system (ESS) is required to reflect the special knowledge about resolving scheduling problems and advising the user about alternatives.

A partner of CIIT, Strategic Innovations Inc., a software development company working with Canadian softgoods manufacturers, wishes to develop an expert scheduling system as a commercial product for the garment industry. In 1987/88, a quick prototype was developed to test the feasibility of ESS and to encourage feedback from potential users. This prototype was developed in ART (Automated Reasoning Tool). ART was chosen so that the prototyping process could be as fast as possible and that limitations of a lower cost system would be avoided in this stage. Currently, experience from developing the prototype and feedback from potential industrial users is being evaluated for the next phase of the project, which includes implementation of features in the prototype in a marketable hardware/software environment. In addition, enhancements will be made to the prototype to test more advanced features of ESS. Proven features will then be included in the commercial version.

RECENT PAPERS — ROBOTICS AND AUTOMATION SECTION

Published

- ALLSTON, J.L., AND STANTON, R.G. Exact coverings of triples with specified longest block length. J. Aust. Math. Soc., Ser. A, 42: 409–420; 1987.
- O'HARA, D.H., ELGAZZAR, S., AND THE, G. ALTER-Harmony: control of a PUMA robot from the Chorus multiprocessor. NRC/ERB-1002, December 1987. 34 pages. NRC 28492.

APPENDIX A

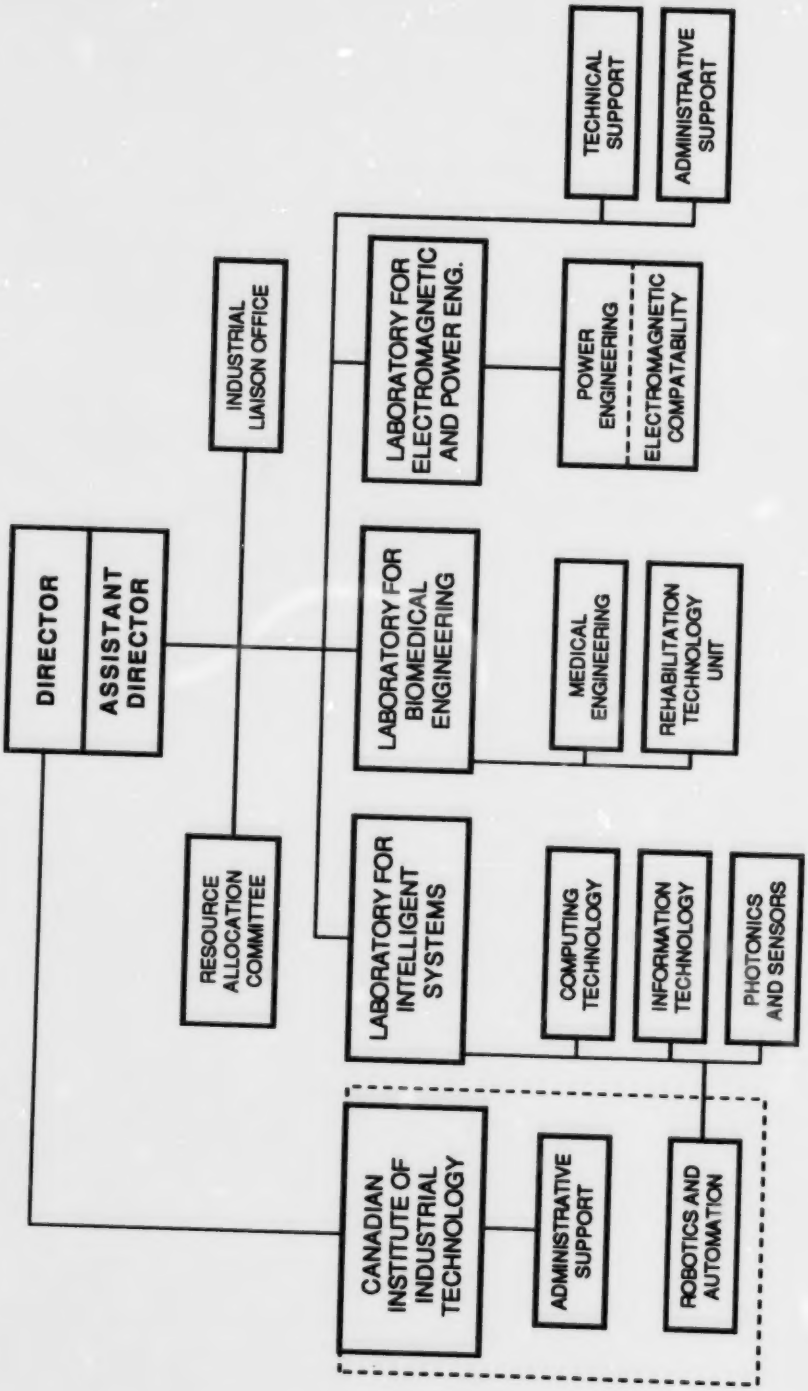


Figure A1 Organization chart of the Division of Electrical Engineering.

APPENDIX B

Staff of the Division of Electrical Engineering April 1, 1987, to March 31, 1988

Director – S.A. Mayman

Associate Director – M.M.C. Collins

Director's Secretary – A.C. Dunn

Principal Research Engineer – J.Y. Wong

INDUSTRIAL LIAISON OFFICE

Hlady, A.M.
Arnold, J.G.
Birnbaum, K.
Neal, G.
O'Hara, D.H.
Scrimgeour, J.H.C.

ADMINISTRATION AND SERVICES

■ **Administrative Office**

Fox, M.M.
Crupi, F.
Houle, C.
Kenny, S.
Lambert, C.
Manson, M.

■ **Supply Office and Stores**

Weston, G.H.
Lajeunesse, M.
Lamont, J.D.
Moodie, R.J.[1]
Osborn, L.
Purney, S.J.[2]
Taggart, S.J.
Wilson, D.G.D.

■ **Editorial Office**

Kidd, E.M.
Tierney, T.A.

■ **Development Workshops**

Milne, D.F.
Bouchard, S.
Bramall, B.K.
Dunlop, D.A.
Farr, B.C.
Franklin, W.[3]
Hendley, J.G.
Kritsch, R.A.
L'Abbé, P.C.
Legere, J.
Marchington, D.C.
Pollex, G.P.
Poulin, D.A.W.
Preece, N.
Reid, D.G.[4]
Taylor, A.R.
Tierney, K.G.

Guest Workers

Adamczyk, S.[5]
Landry, J.[6]
LeBlanc, G.[6]

[1]Resigned from the National Research Council of Canada, March 1988.
[2]Transferred to the Atlantic Research Laboratory, National Research Council of Canada, April 1987.
[3]Transferred to the National Aeronautical Establishment, National Research Council of Canada, January 1988.
[4]Retired, October 1987.
[5]Colonel By Secondary School, Gloucester, Ontario.
[6]Pylon Electronic Development Company Limited, Nepean, Ontario.

■ Drafting and Photography Section

Eamer, C.C.
Ablack, V.G.
Amirault, P.C.
Cameron, L.A.
Gamache, D.
Schoenherr, K.
Vallières, R.A.
Walker, G.D.

Student
Clark, C.

■ DEE Branch Library, CISTI

Dyment, J.
Day, M.

LABORATORY FOR BIOMEDICAL ENGINEERING

Laboratory Head — O.Z. Roy

■ Medical Engineering Section

Scientific Staff

Roy, O.Z.
Black, R.C.
Crabtree, D.
Durie, N.D.
Forester, G.V.
Kadamani, E.
Korba, L.W.
Mortimer, A.J.
Nelson, P.J.
Pauls, J.L.[1]

Technical Staff

Farley, R.
LaFleur, C.
McSheffrey, L.
Park, G.C.
Saver, W.
Scott, J.
Skrypnyk, R.
Statham, A.
Trollope, B.J.
Villeneuve, E.J.

Visiting Research Officer

Foux, A.[2]

Guest Workers

Gilbert, S.[3]
Jinsheng, L.[4]
Lovas, M.A.[3]
Peterson, E.[3]
Wilson, J.[5]

Students

Do, G.B.
Levitt, K.
Little, I.
Swartz, D.

■ Rehabilitation Technology Unit (Toronto)

Scientific Staff

Batelaan, J.
Bennett, W.G.
Clark, I.P.
Liu, A.J.

Technical Staff

Ayvazyan, H.
Kerr, S.A.
Tam, M.
Tremblay, R.

Student

Swartz, R.

[1]Resigned from the National Research Council of Canada, June 1987.
[2]Technion — Israel Institute of Technology, Haifa, Israel.
[3]Ottawa Civic Hospital, Ottawa, Ontario.
[4]China Rehabilitation Research Centre, Beijing, China.
[5]Terray Manufacturing Inc., Arnprior, Ontario.

LABORATORY FOR ELECTROMAGNETIC AND POWER ENGINEERING

Laboratory Head (Acting) — M.M.C. Collins

■ Electromagnetic Engineering Section

Scientific Staff

Balaberda, R.[1]
Campbell, J.B.[2]
Mishra, S.R.[3]
Shih, L.Y.[4]
Wyslouzil, W.[5]

Technical Staff

Allan, L.E.[3]

Guest Worker

Macikunas, A.[6]

■ Power Engineering Section

Scientific Staff

Densley, R.J.
Antar, Y.M.M.[7]
Arseneau, R.J.
Bamji, S.S.
Brown, W.G.[8]
Bulinski, A.T.
Filipski, P.S.
Kashyap, S.
Kekez, M.M.
McComb, T.R.
Moore, W.J.M.
Podgorski, A.S.
So, E.

Technical Staff

Angelo, D.J.
Bennett, D.
Cassidy, B.R.
Cook, P.R.
Cossette, L.
Dagg, G.B.
Dunn, J.G.
Gibson, G.
Grünwald, A.
Hoffman, D.R.[9]
Robert, J.E.P.
Rocheleau, D.O.
Sabourin, L.
Williscroft, G.
Zelle, J.J.

Visiting Research Officer

Miljanic, P.N.[10]

Guest Worker

Hendry, A.[11]

Students

Au, C.
Davis, L.
Gravelle, L.
Plaziac, N.
Swatek, D.
Vu, C.

[1]Resigned from the National Research Council of Canada, April 1987.
[2]Transferred to the Herzberg Institute of Astrophysics, National Research Council of Canada, April 1987.
[3]Resigned from the National Research Council of Canada, March 1988.
[4]Transferred to the Institute for Marine Dynamics, National Research Council of Canada, July 1987.
[5]Transferred to the Herzberg Institute of Astrophysics, National Research Council of Canada, June 1987.
[6]McMaster University, Hamilton, Ontario.
[7]Resigned from the National Research Council of Canada, November 1987.
[8]Transferred to the Industry Development Office, National Research Council of Canada, September 1987.
[9]Transferred to the Herzberg Institute of Astrophysics, National Research Council of Canada, October 1987.
[10]University of Belgrade, Belgrade, Yugoslavia.
[11]Retired, August 1986.

LABORATORY FOR INTELLIGENT SYSTEMS

Laboratory Head — M.M.C. Collins

■ Computing Technology Section

Scientific Staff

Burtnyk, N.
Archibald, C.
Bechthold, G.H.
Elgazzar, S.
Evans, K.B.
Gentleman, W.M.
Green, D.A.
Hung, S.H.Y.
Liscano, R.
MacKay, S.A.
Merritt, C.

Scientific Staff (cont'd)

O'Hara, D.H.
Parr, R.
Roth, G.
Shepertycki, T.H.
Stewart, D.A.
Wein, M.

Technical Staff

Binch, A.T.
Colwell, M.
Duggan, M.D.
Taylor, D.G.

Visiting Research Scientist

Umeyama, S.[1]

Guest Workers

Amid, S.[2]
Kasvand, T.[3]

Students

Henwood, S.
Kadamani, R.
Leblanc, F.
Tretheway, B.

■ Information Technology Section

Scientific Staff

Brahan, J.W.
Abu-Hakima, S.
Buck, L.J.
Davidson, P.L.
El-Zorkany, H.I.
Famili, A.
Farley, B.
Henneker, W.H.
Orchard, R.A.
Parent, A.
Phan, C.S.
Vernadat, F.B.[4]
Wylie, R.H.

Technical Staff

Booth, T.A.
Born, R.V.
Duford, C.
McEwan, L.J.E.
Orpana, F.P.
Shevel, R.

Guest Workers

Boulet, M.M.[5]
Cole, A.[6]
Pilkington, R.[6]
Rose, J.B.[7]

Students

Gourde, C.
Jorgensen, J.
Leeder, M.

[1]Electrotechnical Laboratory, Tsukuba, Japan.
[2]McGill University, Montreal, Quebec.
[3]Consultant, Ottawa, Ontario.
[4]Resigned from the National Research Council of Canada, January 1988.
[5]Laval University, Quebec, Quebec.
[6]University of Leeds, Leeds, United Kingdom.
[7]UNESCO, Paris, France.

■ Photonics and Sensors Section

Scientific Staff

Domey, J.
Abdelmalek, N.N.
Blais, F.
Boulanger, P.B.
Chrostowski, J.
Gauthier, R.[1]
O'Sullivan, M.S.
Rioux, M.

Technical Staff

Alie, F.E.
Cournoyer, L.
Dufour, A.G.
Fournier, T.
Gariépy, P.
Misner, R.

Research Associates

Beraldin, J.-A.
Maigné, P.P.

Post-Doctoral Fellow

Boothroyd, S.A.

Guest Workers

Baribeau, R.[2]
Bock, W.J.[3]
Fontaine, M.[3]
Hartsgrove, G.[4]
Lamb, B.[5]
Lemordant, J.[6]
Porada, E.[7]
Szyszkowicz, M.[8]

Students

Cung, H.M.
Du Charme, P.
Rousseau, D.A.
Veilleux, M.

■ Robotics and Automation Section (Winnipeg)

Scientific Staff

Barakat, M.A.
Allston, J.
Chartier, P.
El-Hakim, S.
Liontas, H.
Neilson, G.B.
Orban, P.

Scientific Staff (Cont'd)

Pizzi, N.
Rao, D.[9]
Sawatzky, G.D.
The, H.G.
Wilk, S.F.
Wu, C.J.

Guest Workers

Chen, M.Y.[10]
Doan, T.B.[10]
Heruga, S.[10]
Kinsner, W.[10]
Kusiak, A.[10]
Leung, Y.M.[10]
Tong, D.[11]
Tse, C.L.[10]

[1]Resigned from the National Research Council of Canada, March 1988.
[2]Servo-Robot Inc., Boucherville, Quebec.
[3]Université du Québec à Hull, Hull, Quebec.
[4]University of Ottawa, Ottawa, Ontario.
[5]University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick.
[6]Université de Grenoble, Laboratoire Artemis, St. Martin d'Héres, France.
[7]Consultant, Ottawa, Ontario.
[8]Now with the National Aeronautical Establishment, National Research Council of Canada.
[9]Resigned from the National Research Council of Canada, February 1988.
[10]University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba.
[11]Integrated Engineering Software, Winnipeg, Manitoba.

CANADIAN INSTITUTE OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY

Director – S.A. Mayman

Executive Manager – W.C. McGregor

Operations Manager – J.P. Reise

Administrative Assistant – N.A. Swanson

Marketing and Promotional Officer – P.F. Kent

Assistant to the Operations Manager – K. Rawes

Secretary – D. Gareau

Receptionist – A. Boily

Student – H.W. Yee

CIIT's Partners

Bristol Aerospace Limited
CAD Systems Inc.
Department of Communications
Diffracto Ltd.
Digital Equipment of Canada Ltd.
Electronics Industry Association of Manitoba
FMC of Canada Limited
Gene Barbee & Associates Ltd.
ICAM Technologies Corporation
Industrial Applications of
Microelectronics Centre Inc.
International Artificial Intelligence Corporation
Iris Systems Inc.
Manitoba Rolling Mills
Monac Acoustic Monitoring International Inc.
NRC Industrial Research Assistance Program
Nygard International Ltd.
Quantic Laboratories Inc.
Red River Community College
Reflex Automated Systems and Control (Canada) Ltd.
Servo-Robot Inc.
Strategic Innovations, Inc.
Syslog Inc.
Ubitrex Corporation
Unisys Canada Inc.
University of Manitoba
University of Winnipeg
Vadeko International Inc.
Voisys Incorporated

BULLETIN
de la
Division de génie électrique

CNRC Ottawa mai 1988 Volume 3 Numéro 2

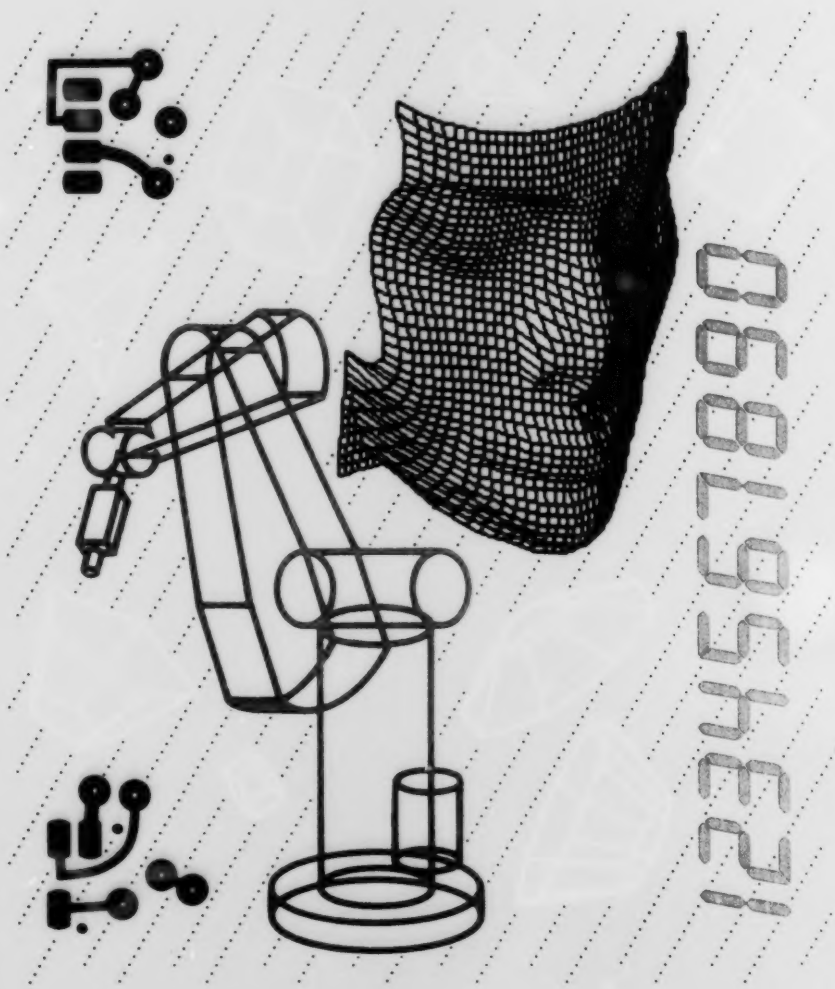
Conseil national de recherches Canada
National Research Council Canada

Division de génie électrique
Division of Electrical Engineering

ISSN 0706-568X

Bulletin de la Division de génie électrique

1987–1988



1234567890

Canada

CNRC nº 29078

Bulletin de la Division de génie électrique
1987–1988

BULLETIN
de la
Division de génie électrique

CNRC Ottawa mai 1988 Volume 3 Numéro 2

Copyright 1988 par Conseil national de recherches du Canada

Il est permis de citer de courts extraits et de reproduire des figures ou tableaux du présent bulletin, à condition d'en identifier clairement la source.

Des exemplaires supplémentaires gratuits peuvent être obtenus à l'adresse suivante:

Bureau des publications, Pièce 301
Division de génie électrique
Conseil national de recherches du Canada
Ottawa (Ontario) Canada
K1A 0R8

TABLE DES MATIÈRES

		Page
INTRODUCTION		
BUREAU DES RELATIONS INDUSTRIELLES		1
Organisation et activités		3
CAO/FAO, robotique et automatisation industrielle	A.M. Hlady – G. Neal – K. Birnbaum	3
Programme de sécurité publique	J. Scrimgeour	4
MÉMOIRES RÉCENTS — BUREAU DES RELATIONS INDUSTRIELLES	J.G. Arnold	5
		6
LABORATOIRE DE GÉNIE BIOMÉDICAL		7
Objectif		7
Sous-objectifs		7
Description du programme		7
Orientations et priorités futures		7
Clients et collaborateurs		7
Évenements importants		8
		8
SECTION DE GÉNIE MÉDICAL		9
Introduction		9
Génie de l'adaptation/réadaptation	N.D. Durie – P.J. Nelson – L.W. Korba – R.C. Black	9
Programmes coopératifs		9
Inventaire de projets en génie biologique		9
Robot pour les soins de santé		11
Aide à la formation à faisceau lumineux mobile, basé sur un microordinateur		11
Conférence sur la technologie pour les déficients développementaux		11
Module émulateur de clavier «CopyKey»		12
Système à clavier MOD		12
Recherches orthopédiques	R.C. Black – A. Foux – G.W.D. Armstrong – D. Chow – J.O. Murnaghan – H.K. Uhthoff – M. Lovas – S. Gilbert	12
Analyse structurale des tissus calcifiés		13
Biomécanique de l'épaule		13
Biomécanique de la colonne vertébrale		13
Commercialisation		13
Les effets des rayons non ionisants	A.J. Mortimer – G.V. Forester	14
Sûreté des ultrasons de diagnostic		14
Angioplastie laser guidée par ultrasons		14
Effets biologiques des ultrasons		15
Paradigmes de découverte pour la classification taxonomique des maladies	D. Crabtree – J.W. Brahan – H.T.J. Mount – M. Niktash – I.S. Pressman	16
Sciences de la vie dans l'espace	A.J. Mortimer – R.C. Black	16
MÉMOIRES RÉCENTS — SECTION DE GÉNIE MÉDICAL		18
		18
UNITÉ DE TECHNOLOGIE DE LA RÉADAPTATION		21
Introduction		21
Technologie de la production d'aides pour handicapés	J. Batelaan – W.G. Bennett – I.P. Clark – A.W. Liu	21
Le système DIRECT		22
MÉMOIRES RÉCENTS — UNITÉ DE TECHNOLOGIE DE LA RÉADAPTATION		23

LABORATOIRE DE GÉNIE ÉLECTROMAGNÉTIQUE ET D'ÉNERGIE 25
Objectif 25
Sous-objectifs 25
Description du programme 25
Orientations et priorités futures 26
Clients et collaborateurs 26
Événements importants 26

SECTION D'ÉNERGIE 29
Introduction 29
Mesures de précision en électricité ..... W.J.M. Moore – E. So – P.S. Filipski – R. Arseneau – P.N. Miljanic 29
Mesures de puissance et d'énergie 29
Transformateur de courant à circuit électronique 30
Étalon de pertes dues à la charge 30
Convertisseur numérique/analogique de multiplication à 25 bits 30
Comparateur de tension alternative efficace/tension continue 30
Étalonnages 30
Mesures des chocs à haute tension ..... T.R. McComb 30
Recherches internationales sur les circuits de mesure de choc à haute tension 30
Utilisation d'enregistreurs numériques dans les laboratoires de haute tension 31
Normes 31
Aide à l'industrie 32
Recherche sur la foudre 32
Isolants électriques ..... R.J. Densley – A. Bulinski – S.S. Bamji 32
Isolants utilisés en milieu humide 32
Isolants utilisés en milieu sec 33
Brouillage et compatibilité électromagnétiques ..... A.S. Podgorski – S. Kashyap – M. Kekez 34
Mesures des impulsions électromagnétiques 34
Simulation d'impulsions électromagnétiques 34
MÉMOIRES RÉCENTS — SECTION D'ÉNERGIE 35
MÉMOIRES RÉCENTS — SECTION DE GÉNIE ÉLECTROMAGNÉTIQUE 38

LABORATOIRE DES SYSTÈMES INTELLIGENTS 41
Objectif 41
Sous-objectifs 41
Description du programme 41
Orientations et priorités futures 42
Clients et collaborateurs 42
Événements importants 43

SECTION D'AUTOMATIQUE 45
Introduction 45
Architectures de multiprocesseurs pour la commande en temps réel ..... W.M. Gentleman – D.A. Green – S.A. McKay – R.K. Parr – D.A. Stewart – M. Wein 45
Le système d'exploitation Harmony 45
Robotique à capteurs 49
Commande de robots ..... S. Elgazzar – D.A. Green – D.H. O'Hara 49
Vision robotisée ..... G. Bechtold – S. Amid – G. Roth – C. Archibald – C. Merritt – B. Trethewey 50

Planification des tâches en robotique ..... K.B. Evans – T. Shepertycki 53
Robot mobile pour les applications en soins de santé ..... D.A. Green – R. Liscano – G. Bechthold 54
Traitement des images de distance pour la reconnaissance des objets ..... S.H.Y. Hung 55
Reconnaissance des objets tridimensionnels d'après des descripteurs globaux 55
Progiciel de modélisation tridimensionnelle pour la production d'images de distance simulées 55
MÉMOIRES RÉCENTS — SECTION D'AUTOMATIQUE 56

SECTION DE RECHERCHES EN INFORMATIQUE 59
Introduction 59
Systèmes à base de connaissances ..... W.H. Henneker – S. Abu-Hakima – J.W. Brahan – L. Buck – P.L. Davidson – B. Farley – R.A. Orchard – A. Parent – F.B. Vernadat 59
Étude des outils de construction de systèmes experts commerciaux 59
Interface en langage naturel pour un système expert-tuteur 60
Un noyau de système expert pour la gestion des risques associés aux appareils médicaux (RIMES-Shell) 60
Modélisation de l'utilisateur dans les systèmes à base de connaissances 61
Apprentissage par les machines 62
Systèmes conseillers intelligents ... J.W. Brahan – S. Abu-Hakima – R.A. Orchard – A. Parent – C.S. Phan 62
Systèmes à base de connaissances/systèmes experts pour le contrôle des appareils et le diagnostic des défaillances ..... H. El-Zorkany – P.L. Davidson – C.S. Phan 63
Systèmes d'informations techniques ..... F.B. Vernadat – A. Famili – W.H. Henneker – R.H. Wylie 64
Maintenance et développement de DBS/R 64
Recherche sur la gestion des modèles 64
Applications de l'apprentissage par la machine à la fabrication 65
Développement d'un gestionnaire d'intégrité perfectionné pour DBS/R ..... A. Famili 65
MÉMOIRES RÉCENTS — SECTION DE RECHERCHES EN INFORMATIQUE 67

SECTION PHOTONIQUE ET CAPTEURS 69
Introduction 69
Vision tridimensionnelle 70
Caméra 3D à volumes de mesure multiples ..... M. Rioux – F. Blais 70
BIRIS en mode passif ..... F. Blais – M. Rioux 72
Amélioration de la fonction de détection de position des capteurs de vision 3D à taux vidéo ..... J.-A. Beraldin – F. Blais 72
Techniques pour élargir la plage dynamique des capteurs de position ..... J.-A. Beraldin – F. Blais 73
Interpretation des images 3D ..... P. Boulanger – M. Cung 73
Interface entre le système CAO/FAO Unigraphic et la caméra 3D ..... B. Lamb – P. Boulanger 74
Intégration de données anthropométriques ..... N. Shewchenko – S. Filoso – P. Boulanger 75
Algorithmes de mise en correspondance d'images de profondeur 3D ..... N.N. Abdelmalek 75
Approche statistique à la mise en correspondance d'objets à partir de données 3D .... N.N. Abdelmalek 75
Programme interactif sur écran de visualisation IIS pour un système adaptatif de mise en correspondance d'images de profondeur 3D ..... N.N. Abdelmalek - R. Kadamani 75
Programme de résolution des systèmes linéaires mal définis découlant de la représentation discrète de l'équation du premier genre mettant en jeu l'intégrale de Fredholm ..... N.N. Abdelmalek 75
Composants photoniques pour traitement des données et capteurs ..... J. Chrostowski – S. Boothroyd – P. Maigné – M. O'Sullivan 76
Traitement optique et commutation optique ..... J. Chrostowski – M. O'Sullivan – S. Boothroyd 76
Guides d'ondes optiques non linéaires ..... J. Chrostowski – S. Chelkowski – M. Fontaine – A. Rawicz 77
Sonde photonique de détection des champs électriques et des pressions élevées ..... J. Chrostowski – R. Gauthier – G. Hartsgrove – W. Bock 79
Fonctionnement sans risque pour l'oeil de la caméra à laser 3D ..... P. Maigné – M. O'Sullivan – R. Gauthier – J. Chrostowski 79

Investigation des propriétés de structure des super-réseaux ..... P. Maigné 80
Installation de polissage de matériaux exotiques ..... A. Dufour – J. Chrostowski 80
MÉMOIRES RÉCENTS — SECTION PHOTONIQUE ET CAPTEURS 80

SECTION DE ROBOTIQUE ET AUTOMATISATION 83
Introduction 83
Robotique 83
Système expert de programmation hors-ligne pour robot peintre ..... P. Orban – G. Sawatsky 83
Soudage robotisé assisté par la vision tridimensionnelle ..... P. Chartier 84
Automatisation industrielle 84
Système automatisé de pointe pour l'inspection des surfaces ..... S.F. El-Hakim 84
Vision stéréoscopique passive ..... S.F. El-Hakim 85
Automatisation des élévateurs à grains ..... G. Neilson 86
Étude de faisabilité d'un appareil robotisé de mesure des coordonnées ..... G. The – P. Orban – G. Neilson – B. Van den Berg 87
Développement d'un système industriel à véhicule télécommandé automatisé ... P. Orban – G. Sawatsky 88
Génie logiciel assisté par ordinateur ..... S.F.J. Wilk 88
Systèmes de planification assistée par ordinateur ... C.J. Wu – H. Liontas – J. Allston – P.W.U. Graefe 89
Systèmes à base de connaissances 89
Système de détection des thromboembolies pour les opérations non urgentes de la hanche ..... N. Pizzi 89
Système expert de détection des troubles de saignement liés aux amigdalectomies/adénoïdectomies ..... N. Pizzi 90
Système de gestion des traitements en oncologie ..... N. Pizzi 90
Système expert à logique fonctionnelle des prédicats ..... N. Pizzi 91
Développement d'un système expert pour les fabricants de biens de consommation ..... G. Sawatsky 91
MÉMOIRES RÉCENTS — SECTION DE ROBOTIQUE ET AUTOMATISATION 92

ANNEXE A — ORGANIGRAMME 93

ANNEXE B — LISTE DE PERSONNEL 95

DIVISION DE GÉNIE ÉLECTRIQUE

INTRODUCTION

Le savoir-faire acquis au fil des ans par le personnel de la Division de génie électrique couvre un très large éventail d'activités. La Division doit choisir dans ce spectre très varié les quelques sujets sur lesquels concentrer ses efforts. Ce choix est limité par plusieurs facteurs — les demandes de l'industrie, les retombées potentielles, les responsabilités légales, les possibilités de collaboration, les commentaires des analystes, etc. La réorientation amorcée par suite des coupures budgétaires de 1987 est terminée et on n'a procédé à aucun virage majeur au cours de l'année dernière. Les projets en cours progressent constamment, exceptionnellement rapidement dans certains cas.

L'Institut canadien de technologie industrielle (ICTI) de Winnipeg a connu une très bonne année. Cinq cents invités issus des secteurs de l'industrie, des universités et des trois niveaux de gouvernement ont assisté à son ouverture officielle en novembre 1987. La participation du secteur privé croît constamment et certains des premiers projets approchent de leur terme.

Les transferts de technologie et la collaboration avec l'industrie prennent de plus en plus d'importance dans les phases de planification et d'exécution des programmes de la Division. Une entente a été conclue en vue de la commercialisation du système d'exploitation multiprocesseur en temps réel Harmony. La réputation internationale du Groupe des diélectriques a ouvert la voie à des ententes de contrats de recherche avec des entreprises du Canada et des États-Unis. On étudie la possibilité de nombreuses applications industrielles d'une nouvelle caméra perfectionnée de vision laser qui peut être montée sur le bras d'un robot. On explore les dérivés potentiels à court terme liés aux fauteuils roulants «intelligents» dans le cadre du nouveau programme interlaboratoire dont l'objectif à long terme est le développement d'un robot mobile pour les applications dans le domaine des soins de santé.

On a mis sur pied un programme en Intelligence artificielle appliquée, considéré essentiel pour bon nombre des travaux en cours au CNRC. Il est très difficile de recruter du personnel d'expérience dans cette spécialité, mais le personnel actuel commencent à faire preuve d'un savoir-faire substantiel et plusieurs projets d'applications sont bien lancés.

Le personnel de la Division travaille à un certain nombre de nouveaux projets en collaboration avec divers groupes externes. Parmi ceux-ci, on compte des propositions destinées aux grandes institutions dans des domaines diversifiés — depuis les recherches dans les secteurs de la police et de la sécurité jusqu'à la recherche en réhabilitation — des programmes visant l'amélioration des compétences de l'industrie canadienne grâce à des travaux en collaboration avec l'Association des manufacturiers canadiens et avec d'autres organismes gouvernementaux; de plus, on prévoit l'utilisation des installations actuelles, ce qui permettra d'accroître leur position avantageuse sans augmentation substantielle des dépenses. L'élément commun qui se dégage de toutes ces activités est sans contredit l'énergie et le dévouement des employés qui y participent.

Le résumé ci-dessus et les rapports qui suivent ne peuvent donner au lecteur qu'une image très partielle de l'étendue et de l'envergure des travaux de la Division. Toute personne qui souhaite avoir plus de détails pour mieux comprendre la technologie, explorer des possibilités de collaboration et des occasions de commercialisation, est invitée à communiquer avec le chercheur responsable, avec le Bureau des relations industrielles ou avec moi-même. Nous savons que le seul véritable étalon de la validité de notre travail est l'utilisation qui en est faite.

S.A. Mayman
Directeur
Division de génie électrique
mars 1988

BUREAU DES RELATIONS INDUSTRIELLES

Agent de liaison industrielle — A.M. Hlady

■ Organisation et activités

■ A.M. Hlady – G. Neal – K. Birnbaum

L'un des principaux objectifs de la Division de génie électrique (DGE) est la réalisation de travaux de recherche et développement pour le soutien des activités de l'industrie canadienne. Afin de faciliter les relations avec ses clients industriels, la Division a créé un Bureau des relations industrielles (BRI), dont le mandat est d'assurer la liaison entre les laboratoires de la DGE et le secteur privé. Pour ce faire, le Bureau diffuse de l'information sur les activités de la Division, aide à l'identification des besoins de l'industrie et sert d'intermédiaire pour la négociation de projets en collaboration et d'accords sur le transfert au secteur privé des technologies développées par la Division. Dans l'exercice de ses fonctions, le Bureau des relations industrielles collabore étroitement avec le Bureau de développement industriel, et en particulier avec le réseau régional du Programme d'aide à la recherche industrielle (PARI) et le réseau des laboratoires du PARI. Il entretient aussi des relations étroites avec les Bureaux des relations industrielles des autres divisions du CNRC.

En conformité de la priorité constante accordée par la Division au transfert de technologies et aux interactions avec l'industrie, le personnel du Bureau a augmenté au cours de l'année dernière, en grande partie par la réaffectation d'une partie du personnel au sein de la Division. Cette main-d'oeuvre supplémentaire a permis au BRI de travailler à un plus large éventail d'activités en regard des années précédentes. En plus d'assurer le rôle général de liaison industrielle pour la Division, le Bureau des relations industrielles comporte maintenant deux composantes plus spécialisées : le conseiller principal sur la CAO/FAO, la robotique et l'automatisation industrielle et le gestionnaire du programme sur la sécurité publique du CNRC.

Le BRI a préparé un projet de plan commercial en consultation avec les gestionnaires de la Division, les chefs des sections et les gestionnaires de projets. Ce document aura une grande influence sur les activités futures du BRI et servira de guide à la Division tout entière en ce qui a trait à l'interface entre les activités internes de recherche et nos clients.

L'un des défis du transfert de technologie est l'identification des compagnies non seulement intéressées par la transformation en produits commerciaux de technologies de laboratoire, mais qui possèdent aussi les compétences nécessaires. Une initiative récente a permis, par l'intermédiaire du processus de demandes de propositions, de choisir P-Can Research Inc. de Toronto à titre de distributeur commercial de la technologie du logiciel en temps réel Harmony.[1]

Le BRI a participé à la préparation d'un recueil des possibilités d'affaires du CNRC, un autre moyen de trouver des partenaires industriels. Ce recueil, mis à jour à tous les trois mois, identifie les résultats des recherches en laboratoire qui peuvent offrir un potentiel commercial et les possibilités de collaboration qui pourraient donner lieu à la production de produits commerciaux. Le recueil est géré par le Bureau de développement industriel et sa promotion est assurée par l'entremise du réseau de laboratoires du PARI et du réseau régional du PARI, qui entretiennent des contacts avec des entreprises au niveau régional dans tout le Canada.

Les dépliants et brochures d'information sont des outils utiles pour accroître la visibilité de nos laboratoires. Au cours de l'année 1987–88, le Bureau a publié ou participé à la préparation de dépliants qui décrivent chacun des trois laboratoires de la DGE ainsi que la feuille de répertoire du DGE qui liste les principaux sujets de recherche et identifie une personne ressource pour chaque sujet. Le BRI a aussi aidé à la préparation d'une feuille décrivant les faits saillants à la DGE et d'un diaporama avec narration qui décrit la Division.

[1]Marque déposée, réservée à l'usage exclusif de Sa Majesté du Chef du Canada par la Société canadienne des brevets et d'exploitation Lté.

Les expositions organisées dans le cadre de conférences sont efficaces elles aussi pour rejoindre d'un seul coup un grand nombre de gens travaillant dans un domaine technique spécifique. Un kiosque sur la DGE a été monté lors de la Conférence annuelle 1977 de l'Association des manufacturiers de matériel électrique et électronique du Canada. On espère organiser un plus grand nombre d'expositions dans l'avenir.

Les collaborations entre l'industrie et nos laboratoires ainsi que les transferts de technologie à l'industrie s'effectuent selon divers processus formels et informels. Lorsqu'une collaboration découle d'une contribution importante des ressources de deux parties ou plus, il est généralement opportun de formaliser ces projets conjoints sous forme d'accords dûment signés, de manière à garantir que les deux parties s'entendent sur les aspects importants comme, par exemple, la propriété intellectuelle ainsi que les rôles et responsabilités de chaque participant. Le Bureau des relations industrielles intervient dans la promotion des ces activités de coopération et dans la préparation des documents d'entente appropriés. Au cours de l'année dernière, le BRI a participé à la négociation et à la préparation d'un certain nombre d'accords de collaboration avec des partenaires provenant de l'industrie, des universités et du gouvernement.

En ce qui a trait au rôle d'identification des besoins de l'industrie, le BRI reste le point central de la Division pour les demandes techniques et les propositions de R&D issues de l'industrie. Le Bureau a traité environ 100 demandes techniques l'année dernière. La complexité technique des réponses à ces demandes dépendait en grande partie du degré de correspondance entre les demandes d'une part et, d'autre part, les connaissances et l'expérience du personnel de la DGE. La Division étudie aussi les propositions industrielles de R&D pour le compte des organismes subventionneurs fédéraux, y compris le PARI du NRC. Le personnel des laboratoires de la DGE évalue les propositions en fonction de certains critères comme, par exemple, le degré d'innovation et de risques techniques, ainsi que la pertinence de l'approche technique proposée. Dans certains cas, les analystes de projet peuvent formuler des critiques constructives et suggérer des approches techniques plus prometteuses ou d'autres types d'améliorations. L'an dernier, le Bureau des relations industrielles a traité environ 135 propositions de R&D.

Le BRI assure aussi les services de secrétariat pour le Comité associé de la technologie pédagogique du CNRC.

CAO/FAO, robotique et automatisation industrielle

■ J. SCRIMGEOUR

DITECHNA

En 1987, on a finalisé des ententes avec l'Association des manufacturiers canadiens (AMC) en vue de l'établissement au Canada du Réseau national de diffusion des technologies manufacturières (DITECHNA). Il s'agit d'un centre national exploité par l'AMC et qui aidera les fabricants canadiens à appliquer des technologies de pointe à la production et au traitement dans tous les secteurs industriels, ce qui améliorera leur niveau concurrentiel sur le marché national et les marchés étrangers. Ses principaux rôles seront d'assurer des services d'information et de conseiller à l'industrie, de mettre sur pied des projets de développement réunissant plusieurs compagnies, de coordonner les activités des centres de technologie de fabrication au Canada et de formuler une perspective nationale et internationale à l'intention de l'industrie, des centres de technologie et du gouvernement. On compte parmi ces technologies de pointe la fabrication intégrée par ordinateur et les technologies qui la composent, le traitement automatisé des matériaux, les tests et l'inspection, la conception assistée par ordinateur, la robotique et l'intelligence artificielle.

Dans le cadre d'une entente entre le CNRC et l'Association canadienne des manufacturiers, le CNRC versera 3,5 millions de dollars, répartis sur sept ans pour aider à l'exploitation de DITECHNA.

Comité associé de l'intelligence artificielle du CNRC

Le Comité associé de l'intelligence artificielle (IA) du CNRC a été établi en 1987 afin de servir de point central et de forum au Canada pour les questions d'intérêt national qui intéressent les secteurs scientifique et technique.

Le comité a préparé un document de travail sur les activités et plans potentiels. Parmi les secteurs clés choisis, on compte l'encouragement d'une collaboration plus étroite entre les utilisateurs de l'IA et les chercheurs en IA dans les laboratoires des universités et du gouvernement, le rôle de conseiller du gouvernement fédéral en matière de planification stratégique en IA et d'autres technologies de l'information et de conseiller du CNRC en matière de développement de son programme orienté sur les applications en technologie informatique et en intelligence artificielle. Les services de secrétariat du comité sont assurés par la Division de génie électrique.

Publications

La préparation et la rédaction de *Le Bulletin CAD/CAM* a continué en 1987. *Le Bulletin CAD/CAM*, qui atteint à chaque mois près de 3000 personnes à l'échelle du pays, assure un service d'observation mondiale des événements et développements en CAO/FAO et en fabrication intégrée par ordinateur et constitue une activité majeure du CNRC en matière de transfert de technologie. DITECHNA commence à l'heure actuelle la distribution d'un bulletin mensuel d'un tirage beaucoup plus important, qui incorporera une version abrégée de *Le Bulletin CAD/CAM*. De plus, DITECHNA mettra la version intégrale de cette publication à la disposition du public sur des bases de données accessibles en ligne.

On a produit un document qui contient des articles écrits par des chercheurs de diverses divisions du CNRC qui travaillent dans le secteur de la CAO/FAO et de la robotique. Ce document contient 37 articles et réunit en un seul lieu les résultats de plusieurs projets qui n'étaient disponibles jusqu'à maintenant que dans des sources très dispersées.

Dans le cadre de l'élaboration de normes internationales sur l'automatisation industrielle par l'Organisation internationale de normalisation (ISO), nous avons entrepris la constitution d'un glossaire de termes en automatisation industrielle, en collaboration avec la Division de génie mécanique; ce glossaire sera disponible sous forme d'une base de données relationnelle pour ordinateurs individuels.

«International Advanced Robotics Programme»

La Division de génie électrique assure les tâches de représentation et de coordination pour le Canada au Forum de coordination conjoint de l'International Advanced Robotics Programme (IARP). Le Canada sera l'hôte en juin 1988 d'une réunion des pays participant au forum; on y tiendra un atelier international sur les applications de la robotique de pointe en médecine et en soins de santé, les 23 et 24 juin, à Ottawa. Il s'agit d'un des domaines d'application du Forum de coordination conjoint et il s'agira de la première activité internationale commanditée par le forum sur cette question.

Programme de sécurité publique

■ J.G. ARNOLD

Le Programme de sécurité publique a été créé le premier avril 1987, par suite de discussions entre les gestionnaires du CNRC et des clients, après les réductions en personnel au CNRC en octobre 1986. L'apport de nouveaux crédits et de nouvelles initiatives a permis d'établir le programme sur une base solide et le gestionnaire du programme sur la sécurité publique (GPSP) fait partie du Bureau des relations industrielles de la Division de génie électrique.

Les deux principaux objectifs du programme sont d'aider le secteur de la police au Canada dans les questions relatives à l'application du savoir-faire scientifique et technique à ses problèmes propres et d'aider l'industrie canadienne en servant de point central aux activités de recherche et développement liées aux produits de sécurité fabriqués aux Canada.

Dans le Programme de science et de technologie de soutien des activités de police au Canada, le GPSP est considéré comme la composante clé au CNRC. Ce programme désigne le CNRC comme principal centre de recherches pour des projets issus de quatre sources : le secteur policier, la Gendarmerie royale du Canada (GRC), le CNRC et l'industrie. Le GPSP fait partie du Comité de recherche opérationnelle de l'Association canadienne des chefs de police, qui établit les priorités des projets entrepris dans le cadre du

programme. Le GPSP relève directement au vice-président (génie) du CNRC, mais il fait rapport au Directeur de la Division de génie électrique pour les questions opérationnelles.

Le GPSP travaille en étroite collaboration avec le secteur policier et a consacré la plus grande partie de ses activités au cours de l'année dernière à un plan de recherche et développement de cinq ans pour ce secteur. Ce plan identifie la nécessité d'une installation spécialisée qui concentrerait en un seul lieu non seulement les besoins en recherche et développement des services de police, mais aussi ceux du secteur de la sécurité au Canada.

Autres faits saillants dans l'année :

- On a accordé au Waterloo Research Institute de l'Université de Waterloo un contrat visant la réalisation d'une étude de faisabilité, le projet Pathfinder. La Faculté d'ingéniérie des systèmes étudie, en collaboration avec la GRC, la Sûreté de l'Ontario et le Service régional de police de Waterloo, la faisabilité de l'utilisation d'un ballon captif équipé d'un système de sonorisation et d'éclairage pour aider à la recherche des personnes égarées.
- Un projet de génie génétique sur l'ADN en cours à l'Institut de recherche de l'Hôpital pour enfants de l'est de l'Ontario a reçu notre appui. Ces travaux avaient débuté sous forme d'un projet de collaboration de la Division des sciences biologiques du CNRC et les recherches ont permis de conclure qu'il pourrait être possible d'identifier un individu au moyen de la chaîne d'ADN, une caractéristique propre à chaque personne.
- Le système GRASS (système logiciel d'attribution des ressources géographiques) a été commercialisé l'été dernier. Le système de cartographie informatique pour l'analyse des crimes a été développé à partir de fonds versés par le programme PARI du CNRC. ACDS Système Graphique Inc. de Hull au Québec a réalisé la commercialisation du système, en collaboration avec le CNRC et le Service de police d'Ottawa, qui conserve le prototype.

Au cours de l'année qui vient, le gestionnaire du programme de sécurité publique continuera de collaborer avec le secteur policier afin d'identifier leurs besoins en R&D et travaillera aussi sur la proposition de l'Institut de recherches sur la sécurité et la police du Canada.

MÉMOIRES RÉCENTS — BUREAU DES RELATIONS INDUSTRIELLES

Publiés

- ☐ Scrimgeour, J. The evolution of CAD/CAM in Canada. CIM Review, 4(1): 48–52; 1987. CNRC 29169.
- ☐ Scrimgeour, J. 1987 CAD/CAM, robotics and automation conference. CAD/CAM and Robotics. Octobre 1987. pp. 20–22. CNRC 29170.
- ☐ Scrimgeour, J. Patterns in the economic justification for computer integrated manufacturing. Compint '87, Montréal (Qué.) 9–12 novembre 1987. pp. 1–15 et Annexe A. (Invité.) CNRC 28479.
- ☐ Scrimgeour, J. Computer integrated manufacturing. Don't ignore CIM any longer. Can. Mach. Metalwork. 81(1): 34–36; 1988. CNRC 29171.
- ☐ Scrimgeour, J. et Vernadat, F. (*Éditeurs*). Advances in CAD/CAM and robotics, NRC contributions. CNRC/ERB-1003, mai 1987. 515 pp. CNRC 27454.
- ☐ Scrimgeour, J., et Vernadat, F. Advances in CAD/CAM and robotics: NRC contributions. Commentary and Bibliography. CNRC/ERB-1013, mai 1987. 27 pages. CNRC 28126.

Présentés

- ☐ Scrimgeour, J. The development and evolution of CAD/CAM in Canada. CNRC/DGE Association de la Science, Ottawa (Ont.). 16 avril 1987.
- ☐ Scrimgeour, J. Artificial intelligence and intelligent systems in Canada. Canadian Society for the Fifth Generation Research, Third Annual Meeting, Ottawa (Ont.). 23–24 avril 1987.
- ☐ Scrimgeour, J. Artificial intelligence in Canada. The Federation of Engineering and Scientific Associations, Toronto (Ont.) 21 novembre 1987.

LABORATOIRE DE GÉNIE BIOMÉDICAL

Chef de laboratoire — O.Z. Roy

■ Objectif

- Constituer un centre d'excellence pour la création, la distribution et l'application des connaissances et techniques du génie biomédical au soutien de la qualité de vie et des soins de santé et collaborer avec l'industrie en vue du développement et de l'application des technologies qui permettront de réduire les coûts des soins de santé prolongés en institution ainsi que la nécessité de ce type de soins.

Sous-objectifs

- Améliorer la qualité de vie des handicapés physiques, des déficients développementaux et des personnes âgées par la conception, le développement, l'évaluation et l'application de dispositifs et de technologies conçus en vue des problèmes associés aux handicaps.
- Déterminer l'effet des rayonnements non ionisants sur le système biologique, de manière à comprendre les processus interactifs et les effets biologiques de ces rayonnements et, en collaboration avec les autres organismes de recherches et l'industrie du Canada, appliquer ces connaissances à l'élaboration de normes de performance et de sécurité en soins de santé et au développement de nouveaux appareils thérapeutiques et de diagnostic.

■ Description du programme

Le réseau des soins de santé comporte deux secteurs majeurs — les soins prolongés et les soins de courte durée. Au Canada, chaque secteur équivaut à 15 ou 20 milliards de dollars. La Laboratoire de génie biomédical travaille sur des questions issues de ces deux secteurs; il compte deux sections, l'Unité de technologie de la réadaptation, située à Toronto, et la Section de génie médical, située à Ottawa.

Le programme d'adaptation/réadaptation développe, évalue et commercialise des technologies essentielles au secteur des soins prolongés. Le programme a surtout porté sur des appareils qui ont accru l'indépendance et amélioré la qualité de vie de personnes atteintes de handicaps sévères. Toutes les réalisations découlant de ce progamme sont des produits destinés aux handicapés. Bien que la plupart des travaux de développement et d'application soient réalisés par l'Unité de technologie de la réadaptation, la Section de génie médical consacre une bonne partie de ces ressources à ces activités.

Dans le secteur des soins de courte durée, la Section de génie médical a concentré ses efforts sur les effets des rayonnements non ionisants et en particulier les effets des ultrasons. Ce programme, réalisé en collaboration avec la Section de biophysique moléculaire de la Division des sciences biologiques du Conseil national de recherches, vise le développement de modèles biologiques sensibles qui intéressent tout particulièrement les compagnies pharmaceutiques, ainsi que les méthodes de mesure, l'instrumentation et les normes qui intéressent d'autres composantes de l'industrie des soins d'urgence. Parmi les projets du programme, on compte le développement d'un cathéter d'angioplastie laser guidée par ultrasons, l'installation d'étalonnage ultrasonore principale et le développement de sondes spécialisées à résonance magnétique.

Orientations et priorités futures

- Développement d'un système de guidage par ultrasons pour l'angioplastie laser.
- Accroissement de l'importance accordée au transfert de technologie.
- Étude des effets sur le foetus des appareils à ultrasons Doppler pulsés.
- Mise à niveau de l'installation principale de mesure aux ultrasons.

- Développement d'un nouveau clavier MOD graphique.
- Développement et démonstration d'un robot autonome pour les soins de santé.
- Établissement d'installations d'évaluation pour les dispositifs orthopédiques implantés.

Clients et collaborateurs

Le Laboratoire favorise la participation externe à tous ses projets de recherche. On a constaté que l'une des manières les plus efficaces d'encourager la participation externe tout en facilitant le transfert de technologie est la tenue de séminaires et de conférences. Au cours de l'année dernière, les réunions suivantes ont eu lieu à Ottawa.

- Séminaire sur la technologie pour les déficients développementaux, auquel 120 personnes ont participé.
- Atelier démographique international, organisé pour le compte du Comité associé de la recherche et du développement pour la réadaptation des personnes handicapées, auquel 60 personnes ont assisté.
- Atelier décrivant l'installation de tests biologiques présenté à 30 représentants de l'industrie pharmaceutique, en collaboration avec la Division des sciences biologiques.

L'unité a aussi publié son *Inventaire de projets en génie biologique*, qui décrit les travaux de recherche et développement de plus de 200 chercheurs et instituts de l'ensemble du Canada. On y trouve une section sur le transfert de technologie dans laquelle l'industrie identifie les technologies qui l'intéressent et les chercheurs décrivent les technologies qui sont prêtes à être commercialisées. De plus, trois lettres de nouvelles (tirage : 3000 exemplaires) ont été publiées pour le compte du Comité associé de la recherche et du développement pour la réadaptation des personnes handicapées.

Évenements importants

- Octroi à Morris Instruments Inc. des droits de fabrication de la sonde à résonance magnétique.
- Une grande compagnie pharmaceutique a exprimé son intérêt pour l'utilisation de l'installation de tests biologiques pour les tests des médicaments cardiaques.
- Entente avec l'Institut national canadien pour les aveugles en vue d'un programme coopératif de développement et d'application.
- L'organisme de commercialisation TASH a acquis son indépendance et ne nécessite plus la contribution annuelle de 209 000 a du CNRC.
- Développement de la technologie et de l'instrumentation pour étudier les plus gros coeurs hors du corps (coeurs de porcs). La procédure de tests s'est donc encore rapprochée de la situation clinique et touche directement aux domaines liés au processus de conservation du coeur (greffes) et des opérations de pontage coronaire.
- Automatisation des procédures du cueillette et d'analyse des données pour les tests sur les coeurs de rats et de la technologie de la spectroscopie par résonance magnétique. Cette simplification permettrait à notre unité de décrocher plus facilement des contrats.
- Transfert de technologie via trois séminaires sur place et publication de l'*Inventaire de projets en génie biologique*.
- Honneurs accordés par leurs pairs à deux membres du groupe : O.Z. Roy est devenu Fellow de la Société canadienne de génie médical et biologique et A.J. Mortimer est devenu Fellow de L'American Institute of Ultrasound in Medicine.
- Les Comités d'analyse externes accordent un soutien très solide aux activités de recherche du groupe ainsi qu'à notre système de distribution des aides techniques. Les comités ont recommandé l'accroissement du soutien financier et en personnel. Une des conséquences directes de l'analyse des travaux sur les rayonnements non ionisants fut la proposition par Santé et Bien-être social Canada de partager les coûts de l'installation principale de mesure par ultrasons.

SECTION DE GÉNIE MÉDICAL

Chef de section — O.Z. Roy

■ Introduction

La Section de génie médical travaille dans les secteurs des soins prolongés (adaptation/réadaptation) et des soins de courte durée (effets des rayonnements non ionisants).

Le groupe d'adaptation/réadaptation travaille surtout à l'adaptation des technologies pour en permettre l'utilisation par les clients ou afin d'accroître le bien-être de ceux-ci. La plupart des travaux portent sur l'adaptation de micro-ordinateurs aux handicapés physiques et mentaux. On travaille aussi en partie à la prévention des handicaps par l'élaboration d'une méthode non effractive de mesure des données biologiques pour le diagnostic de l'ostéoporose chez les personnes âgées. Cette méthode serait utile aussi pour la planification des implants chirurgicaux et pour l'évaluation des conséquences de l'exposition des astronautes à des périodes prolongées de microgravité.

Les objectifs à long terme du programme des rayonnements non ionisants sont le développement de capteurs plus sélectifs et durables, de méthodes améliorées de cueillette et d'analyse des données et de modèles biologiques au niveau cellulaire ou microbiologique. Les modèles et méthodes utilisés dans le cadre de projets en collaboration avec le Ontario Cancer Clinic, Santé et Bien-être social Canada et Agriculture Canada. Les données scientifiques sont utilisées par des organismes nationaux et internationaux de normalisation. En complément aux fonctions de mesures biologiques, l'équipe du programme a développé une installation pour l'étalonnage de transducteurs ultrasonores et pour la mesure exacte de leurs diagrammes de rayonnement. L'unité offre à l'industrie canadienne et à Santé et Bien-être social Canada des services d'étalonnage sur la base du recouvrement des coûts et participe aux mesures de comparaison avec le National Bureau of Standards des États-Unis et le National Physical Laboratory du Royaume-Uni.

■ Génie de l'adaptation/réadaptation

■ N.D. Durie – P.J. Nelson – L.W. Korba – R.C. Black

Programmes coopératifs

Robot destiné aux enfants autistiques

Un psychologue d'Ottawa a partiellemment développé un robot (figure 1) pour le traitement des enfants autistiques. Ces patients ont fréquemment de la difficulté à établir des relations avec d'autres personnes et quelques faits laissent entendre qu'ils établissent plus facilement des liens avec certains dispositifs comme, par exemple, un robot. Le psychologue a constaté que son robot original comportait plusieurs défauts de conception et de réalisation et a demandé l'aide du Laboratoire par l'entremise du Bureau du développement industriel. Des améliorations ont été apportées au système de transmission de la voix, on a conçu un modificateur de la voix qui «robotise» encore plus la voix du psychologue et on a entièrement refondu les entraînements du moteur ainsi que le système de direction. On attend la permission d'utiliser le robot à l'Hôpital pour enfants de l'est de l'Ontario dans le cadre d'essais sur le terrain.

Dispositifs d'aide à l'apprentissage de la préhension

La Section de génie médical a développé deux modèles de dispositifs d'aide à l'apprentissage de la préhension pour deux types très distincts d'applications, à partir d'une technologie développée il y a plusieurs années par le Laboratoire.

Le dispositif originel, utilisé pour aider à l'apprentissage de la préhension des enfants atteints de paralysie cérébrale, a été adapté aux handicapés mentaux. Le dispositif fonctionne par l'illumination d'une

Figure 1 Robot destiné aux enfants autistiques.

rangée de voyants en séquence tant qu'une pression prédéterminée est appliquée au manche. Des effets sonores servent à encourager l'utilisateur. Un second dispositif a été construit pour l'apprentissage du relâchement de la préhension. Ce dispositif ne donne des encouragements sonores que lorsque le manche est saisi puis relâché sur demande. Les deux dispositifs sont implantés sur le terrain et sont en cours d'évaluation par des thérapistes qui travaillent avec des enfants handicapés mentaux.

Cette technologie a aussi permis le développement, en collaboration avec le programme de sécurité publique du CNRC, d'un dispositif d'apprentissage de la préhension utilisé par un service de police pour les exercices d'adresse au tir au pistolet. Lorsqu'on tient le pistolet à deux mains, si une main exerce une pression au mauvais endroit, il y a erreur de visée. On a développé une configuration originale qui utilise un détecteur à condensateurs et le circuit approprié pour mesurer la capacité. Ce détecteur produit des indications sonores et visuelles en cas de pression inappropriée de la main pendant le tir au pistolet. Le dispositif est en cours d'évaluation sur un champ de tir. La technologie a été transférée au service de police et nous avons recommandé qu'elle soit transférée à l'industrie en vue de sa mise en marché.

Entraînement à la propreté

Nous avons parlé de cette question dans une livraison antérieure du *Bulletin de la Division de génie électrique* (vol. 2 nº 6). À l'époque, nous avions décrit une méthode de détection de l'urine par la conductivité. Au cours des deux années qui ont suivi, les essais sur le terrain ont démontré la validité de cette méthode. Deux versions modifiées récentes comportant des indications visuelles et sonores de présence du liquide ont été installées dans des résidences pour enfants handicapés à Ottawa et à Kingston. Lorsque l'appareil détecte de l'urine, le personnel de ces résidences peut réagier à cette information de la manière qui leur convient.

Inventaire de projets en génie biologique

L'Inventaire contient une série de résumés d'une page provenant d'environ 200 chercheurs; chacun décrit un projet touchant à un aspect du génie biomédical au Canada. Ils sont réunis dans un livre, avec plusieurs index pour aider les utilisateurs à identifier le type de recherche en cours. Ce livre a paru à tous les deux ans depuis 1979 et une nouvelle édition couvrant 1987 est en préparation. On peut communiquer avec le Bureau de vente et diffusion des publications du CNRC pour plus de renseignements sur la disponibilité et le prix des diverses éditions de l'Inventaire.

Robot pour les soins de santé

On a commencé des travaux sur un robot destiné aux soins de santé, un projet conjoint entre les Sections de génie médical et d'automatique. On prévoit que les premières applications relèveront du secteur de la gériatrie, dans lequel un robot pourrait assurer l'indépendance d'une personne et éviter son placement en institution, bien que des applications en soins de santé puissent aussi être pertinentes. Ce projet comportera une composante importante de collaboration avec les entreprises et organismes extérieurs.

La première phase porte sur le développement d'une plate-forme mobile (à partir de la plate-forme K2A de Cybermation) qui puisse se déplacer dans une pièce sans entrer en collision avec les objets situés sur son chemin. Le groupe de génie médical développera un réseau de capteurs à ultrasons pour la fusion des capteurs dans la structure logicielle de la plate-forme mobile.

L'une des premières exigences de ce type de robot de soins de santé est sa capacité à trouver la personne qu'il doit aider. Nous avons étudié une liste très longue de capteurs avant de choisir ceux qui seront utilisés pour notre étude. Au cours des expériences préliminaires, on a constaté l'utilité des fonctions de détection de la chaleur et du mouvement. On projette aussi d'incorporer au robot une fonction de réponse à la voix.

Aide à la formation à faisceau lumineux mobile, basé sur un micro-ordinateur

Une méthode de formation pour l'amélioration des compétences en communication a été développée et on a fait la preuve de son efficacité avec des déficients développementaux. Cette méthode passe par l'utilisation d'un dispositif formé de 2 à 16 carrés illuminés, chacun étant identifié par une image ou par un dessin, et d'un sélecteur. Les carrés s'allument en séquence par l'enfoncement du sélecteur. L'utilisateur introduit son choix en restant plus longtemps que d'habitude sur l'élément illuminé.

Pour accroître la souplesse du système en ce qui a trait aux méthodes de balayage et aux dispositifs de sortie, on a développé une version à micro-ordinateur monopuce du dispositif, qui peut émuler 64 sélecteurs. On prévoit l'utilisation de cet appareil avec le dispositif «Talk-O» (en cours de développement par l'Unité de technologie de la réadaptation). Dans cette application, la sélection de l'un des carrés produit une sortie vocale.

Conférence sur la technologie pour les déficients développementaux

La Section de génie médical était l'hôte de cette conférence, qui s'est tenue à Ottawa du 1er au 2 octobre 1987 et qui a accueilli plus de 120 personnes. Dix conférenciers majeurs venus de partout au Canada et des États-Unis ont été choisis pour représenter les secteurs du génie biomédical, de la psychologie, de l'éducation spéciale, de la pathologie de la parole, de la réadaptation professionnelle et de l'administration. Un dîner-causerie a été prononcé par monsieur G. Abrahamsohn du ministère des Services sociaux et communautaires de l'Ontario, qui a décrit l'approche choisie par son Ministère en matière des handicapés mentaux. Une table-ronde a porté sur les problèmes de l'intégration des travaux de recherche à la pratique clinique. Des discussions plénières ont permis à chaque délégué d'exprimer ses opinions et ses préoccupations.

En plus du volet technologique, la conférence a traité des recherches objectives visant la mesure de l'efficacité des méthodes et dispositifs utilisés pour les déficients développementaux. Vingt panneaux d'exposition ont montré des développements récents, dont plusieurs portaient particulièrement sur les systèmes de communications pictographiques informatisés. On prépare présentement les actes de la conférence en vue de leur publication.

Module émulateur de clavier «CopyKey»

Comme conséquence directe de la Conférence sur la technologie pour les déficients développementaux, un projet de collaboration tripartite a été mis sur pied autour de la notion d'un pavé de touches très simple que les déficients développementaux pourraient utiliser pour exploiter plus facilement les logiciels d'enseignement assisté par ordinateur. La principale caractéristique du module projeté serait la facilité de programmation, c'est-à-dire simplement par copie électronique de la séquence d'actionnement des touches à partir du clavier de l'ordinateur central (d'où son nom).

Un prototype appelé «adapteur de clavier simple» (SIMKA) a été fabriqué à partir d'un micro-ordinateur monopuce afin de faire la démonstration de la méthode de remplacement de quelques touches d'un ordinateur central par des commutateurs plus appropriés à une personne handicapée. On a fait la démonstration du prototype sur un ordinateur ICON, en collaboration avec l'Unité de génie biomédical de l'Université Queen's de Kingston en Ontario et avec le projet Schools, Computers and Learning du ministère de l'Éducation de l'Ontario.

Par la suite, on a accordé un contrat à l'Unité de génie biomédical de l'Université Queen's, qui collaborera avec l'institution Prince Edward Heights de Picton en Ontario (ministère des Services sociaux et communautaires de l'Ontario) à une étude et un relevé des besoins liés au module CopyKey dans les centres pour déficients développementaux. Cette étude simulera l'utilisation du dispositif projeté en conditions cliniques et comparera sa performance à celle de produits existants qui comportent des caractéristiques semblables à celles du module projeté.

Système à clavier MOD

Le système MOD est fondé sur l'utilisation d'une cartouche mémoire enfichable dans l'ordinateur VIC-20 de Commodore. L'écran du VIC-20 affiche ensuite un «clavier» virtuel, sur lequel une personne handicapée peut choisir des caractères, des mots, des phrases et des menus de commandes informatiques. On peut choisir l'ordinateur individuel auquel relier le système parmi les plus courants, ce qui permet l'utilisation rapide et facile de tous les logiciels standard conçus pour cet ordinateur.

Jusqu'à présent, trois cassettes VIC-20 ont été commercialisées : Auto-MOD, Elementary MOD, et Clavier Elementaire MOD, de sorte que la gamme du Système MOD sur VIC 20 est complète. Signalons tout particulierement qu'Auto-MOD est très populaire auprès des cliniques qui desservent des écoliers handicapés physiques.

On a apporté récemment les améliorations suivantes à la version VIC-20 : une nouvelle fonction d'«auto-ponctuation» qui complète les fonctions automatiques actuelles de vocabulaire, l'émulation des claviers de l'IBM-PC/AT et du IBM-PS/2, d'autres options de configuration pour permettre l'usage de codes de retour arrière non standard et de vitesses de transmission variables entre Auto-MOD et son ordinateur central, ainsi qu'une carte simple de circuits et le logiciel associé pour permettre l'enfichage des cartouches du système MOD dans les ordinateurs Apple-II/II + /IIe, de manière à faciliter le téléchargement aval et amont des fichiers utilisateurs.

La notion de conversion d'Auto-MOD en un progiciel pour les ordinateurs compatibles IBM, en particulier les nouvelles versions portatives, a suscité beaucoup d'intérêt. C'est dans cette optique que les travaux se sont poursuivis dans le cadre d'un contrat pour la traduction du programme en langage C. Un prototype du progiciel résultant a été testé en laboratoire et les autres travaux nécessaires ont été identifiés. Ils seront terminés au milieu ou vers la fin de l'année financière 1988–89.

Nos travaux antérieurs sur le clavier Elementary MOD (EMK), en collaboration avec le Hugh MacMillan Medical Centre de Toronto ont indiqué qu'existait un besoin pour un système de ce type avec affichage graphique. On a préparé une proposition en vue d'un développement majeur dans cette direction. La caractéristique la plus importante de la proposition serait la possibilité d'afficher et de manipuler diverses librairies d'images graphiques ou de symboles pictographiques ainsi que du texte, de sorte que le système pourrait être utilisé par des personnes illettrées ou qui n'ont pas encore appris à lire, ainsi que par certains déficients développementaux. Le recours à un disque rigide nous permettra de combiner la parole numérisée à des images graphiques pour faciliter l'apprentissage. Le système proposé serait compatible avec tous les modules d'introduction à balayage du système MOD actuel, avec en plus un écran tactile, une souris, un pointeur de tête et d'autres types de dispositifs de pointage. Plusieurs centres de réadaptation et d'autres groupes du domaine des communications pictographiques s'intéressent à ce système. En raison de l'envergure du projet, on est à la recherche d'un soutien financier extérieur.

■ Recherches orthopédiques

■ R.C. Black – A. Foux[1] – G.W.D. Armstrong[2] – D. Chow[2] – J.O. Murnaghan[2] – H.K. Uhthoff[3] – M. Lovas[4] – S. Gilbert[4]

Analyse structurale des tissus calcifiés

Le Laboratoire de biomécanique a poursuivi la formulation de protocoles d'essais mécaniques pour les os entiers, conjointement avec des études sur le consolidation des fractures en cours à l'Hôpital Général d'Ottawa. Des tests de flexion non destructive sur quatre points servent à l'évaluation de prototypes de plaques d'ostéosynthèse. Parmi les expériences réalisées, on compte la comparaison des profils des contacts de surface de la plaque du point de vue de la circulation et de la résistance de l'os. Des plaques d'ostéosynthèse avec flexibilité uniaxiale variable sont en cours de développement pour évaluation *in vitro* et *in vivo*. Un nouveau protocole de test cantilever a été formulé pour aider à l'évaluation des agents pharmacologiques de consolidation des fractures.

Biomécanique de l'épaule

On a mesuré le mouvement de l'épaule dans 6 degrés de liberté avec le 3 Space Tracker de McDonnell Douglas, auquel on a ajouté du matériel conçu pour permettre l'étalonnage statique et dynamique. De plus, on a terminé un cadre de référence vertical pour l'étalonnage sur le sujet. On prévoit produire au cours de l'année qui vient une démonstration qui identifiera les applications potentielles du système en analyse des mouvements humains.

Biomécanique de la colonne vertébrale

Le développement de dispositifs implantables pour la fixation antérieure de l'épine dorsale et du jeu

[1]Agent de recherche visiteur.
[2]Hôpital Civic d'Ottawa, Ottawa (Ontario).
[3]Hôpital Général d'Ottawa, Ottawa (Ontario).
[4]Travailleur invité.

d'instruments associé (voir la figure 2) en est rendu à la phase de commercialisation via un fabricant canadien, Terray Manufacturing Inc. Une plaque thoracique en cours de développement servira de complément aux dispositifs lombaires–lombothoraciques actuels. Des essais sont en cours pour évaluer les stratégies de fixation par comparaison des méthodes à vis et des techniques d'insertion (avec ou sans ciment pour les os).

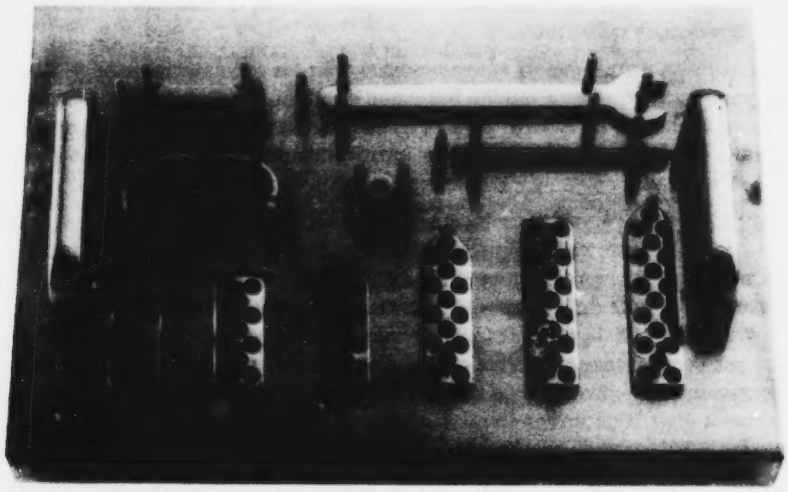


Figure 2 Jeu d'instrumentation spinale antérieure.

Commercialisation

La communauté orthopédique du Canada a manifesté un grand intérêt pour la création au Canada des possibilités de commercialisation et de fabrication. Le ministère du Commerce et de la Technologie de l'Ontario, le ministère fédéral de l'Expansion industrielle régionale et le CNRC ont aussi exprimé leur intérêt. On a exploré un modèle du rôle du CNRC dans le processus de commercialisation, depuis sa participation à l'ensemble du développement technique des plaques spinales jusqu'à la phase de commercialisation. On a proposé qu'à la réception d'un projet commercial valable, un projet d'incubation soit négocié; le CNRC fournirait les installations et le savoir-faire de soutien à un groupe technique central aux fins de la production par CFAO des implants prototypes et de leur évaluation.

■ Les effets des rayons non ionisants

■ A.J. Mortimer – G.V. Forester

Sûreté des ultrasons de diagnostic

Le développement des systèmes à ultrasons Doppler pulsés pour la mesure du débit sanguin a permis l'introduction de méthodes de diagnostics comme la détection des défauts cardiaques congénitaux, la mesure du débit sanguin du foetus et l'évaluation de l'approvisionnement sanguin dans le placenta, des techniques particulièrement utiles dans le cas de certaines grossesses à haut risque. Ces nouvelles techniques majeures ont donné lieu à la création d'une nouvelle génération d'appareils. Les niveaux de sortie acoustique des nouveaux systèmes Doppler pulsés sont bien supérieurs à ceux utilisés présentement pour les diagnostics. En fait, l'intensité moyenne maximale des niveaux de diagnostic est supérieure aux niveaux auxquels on a constaté des effets biologiques dus aux ultrasons.

Plusieurs projets internationaux sont en cours pour l'évaluation des effets possibles des ultrasons produits par des systèmes Doppler pulsés. Au cours de l'année dernière, l'apport du Conseil national de recherches a surtout porté sur la compréhension des mécanismes biologiques par lesquels les ultrasons Doppler pulsés interagissent avec le système biologique. À partir de cette information, on peut assurer un meilleur rendement des études *in vivo* déjà en cours.

Les deux principaux mécanismes d'action des ultrasons dans les systèmes biologiques découlent de l'augmentation de la température et de la cavitation. Bien que l'on connaisse assez bien les effets thermiques des ultrasons, on en sait beaucoup moins sur les effets possibles de la cavitation. À partir d'une technique de détection développée en collaboration avec Santé et Bien-être social Canada, on a mesuré les radicaux libres potentiellement dangereux produits par la cavitation acoustique. Les résultats de ces expériences (voir la figure 3) démontrent que des durées d'impulsion du même ordre que celles des systèmes de diagnostic actuels produisent moins de dommages de cavitation que le prédisent les calculs théoriques utilisés présentement pour l'évaluation de la sûreté des appareils. Il s'agit de la première étude sur la cavitation due aux systèmes Doppler pulsés et les résultats indiquent que la cavitation pourrait ne pas être un facteur du point de vue de la sûreté du foetus. Nous poursuivons l'étude des autres mécanismes qui pourraient causer des effets nuisibles.

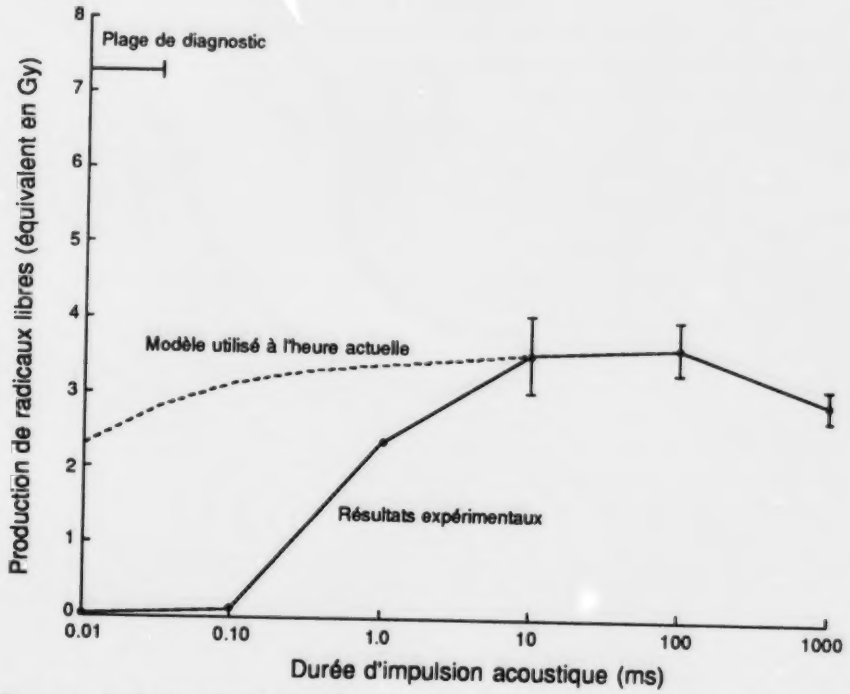


Figure 3 Production de radicaux libres due à la cavitation acoustique résultant d'ultrasons pulsés. La cavitation observée aux durées d'impulsion de diagnostic est bien inférieure aux prévisions.

Angioplastie laser guidée par ultrasons

Un perfectionnement récent en chirurgie cardiaque est l'utilisation expérimentale d'un laser Excimer pour déloger la plaque de l'intérieur de l'artère coronaire. Connue sous le nom d'angioplastie coronaire

transluminale, la technique pourrait supprimer le recours à la chirurgie dans le traitement d'un grand nombre d'affections coronaires. Il n'est pas nécessaire d'ouvrir le thorax pour procéder à l'angioplastie transluminale, ce qui réduit les frais d'hospitalisation et accélère le rétablissement du patient. L'angioplastie au laser Excimer produit une incision extrêmement nette, qui ne cause ni brûlure ni traumatisme des vaisseaux sanguins.

Bien qu'on ait établi l'utilité du laser Excimer en chirurgie cardiaque dans le cas d'opérations à thorax ouvert réalisées à l'Institut de coeur d'Ottawa dans le cadre d'un projet conjoint entre le Conseil national de recherches du Canada, de l'Institut du coeur et de Lumonics Inc., cette technique ne trouve que des applications limitées puisque le cardiologue ne peut facilement faire la différence entre la plaque à déloger et la paroi du vaisseau sanguin. Il faut éviter d'abimer la paroi du vaisseau sanguin lorsqu'on élimine la plaque. La Section de génie médical travaille présentement au développement d'un système de télémétrie par ultrasons qui permettra de mieux distinguer la plaque et la paroi du vaisseau. Un prototype a été développé qui permettra d'identifier la paroi et la plaque dans la zone focale du laser. Qui plus est, des prototypes de transducteurs à cathéter ont été développés qui permettront d'insérer dans une artère la fibre laser et le système de télémétrie aux ultrasons et de les amener jusqu'au point d'obstruction sans ouvrir le thorax.

Les tests réalisés au moyen du prototype indiquent qu'il est possible d'identifier la plaque et la paroi du vaisseau sanguin. Le système est présentement en cours de perfectionnement pour améliorer l'affichage et la détection de divers types de plaque, de manière qu'il soit plus pratique en situation clinique. Les essais précliniques auront lieu tout au long de l'année 1988.

Effets biologiques des ultrasons

Des études réalisées par notre groupe ont démontré que le coeur peut agir comme modèle sensible des effets biologiques des ultrasons. L'une des composantes des ces études vise à établir le lien entre la performance cardiaque et l'application d'ultrasons lors d'événements métaboliques, de manière à définir la séquence d'événements des réponses bénéfiques. Notre objectif est la production d'un dispositif thérapeutique qui puisse être utilisé en situation clinique. Ces études touchent aussi à des applications de soutien pour la composante de santé et sécurité du programme des ultrasons.

L'état métabolique du muscle cardiaque hors du corps a été étudié au moyen d'une sonde à induction très sensible développée par le Conseil national de recherches du Canada pour le spectroscope à résonance magnétique (SRM). Le SRM P31 peut servir à mesurer les composés de phosphate haute énergie dans le coeur. Avec la méthode SRM, les variations métaboliques du coeur peuvent être mesurées sur une période aussi courte que 30 s et on peut donc suivre la suite des événements par l'application d'ultrasons. On a déjà conclu que les ultrasons améliorent la performance cardiaque en facilitant l'utilisation des réserves d'énergie disponibles dans le coeur normal et dans le coeur inactif.

Des étude plus récentes portent sur la corrélation des événements métaboliques et mécaniques dans le coeur après l'arrêt de la fonction cardiaque, c'est-à-dire lorsque le coeur est en état ischémique. On a démontré que les ultrasons peuvent améliorer le rétablissement du coeur perfusé plusieurs fois. On peut voir avec le MRS que les ultrasons semblent provoquer une «surdose» de la phosphocréatine, un composé haute énergie qui permet au coeur de battre plus vigoureusement et plus rapidement après la fin de l'arrêt cardiaque.

Les études de ce type, qui portent sur des situations cliniques typiques, aident notre groupe à développer des outils efficaces pour les applications cliniques des ultrasons et produisent des données scientifiques fondamentales qu'utiliseront les organismes de réglementation dans le secteur de la santé.

■ Paradigmes de découverte pour la classification taxonomique des maladies

■ D. Crabtree – J.W. Brahan – H.T.J. Mount[1] – M. Niktash[2] – I.S. Pressman[2]

Ce projet découle de l'intérêt pour l'apprentissage par la découverte, en particulier du point de vue de

[1]Hôpital Civic d'Ottawa, Ottawa (Ontario).
[2]Université Carleton, Ottawa (Ontario.

la classification, pour l'évaluation de méthodes fondées sur machines afin d'accroître les compétences humaines, pour le développement de nouvelles méthodes aux mêmes fins, et pour la recherche visant la compréhension des procédés associés aux connaissances humaines. La nécessité d'attaquer certains problèmes liés aux systèmes à base de connaissances constitue une autre motivation de ces recherches. Les systèmes à base de connaissances sont très coûteux à réaliser et complexes à entretenir et ils nécessitent d'importants investissements en main-d'oeuvre, une denrée rare. Malgré tout, les ingénieurs et les planificateurs constatent que ces systèmes ont le potentiel nécessaire à des applications d'envergure pour les situations dans lesquelles l'apprentissage à partir de l'observation est une fonction nécessaire, mais que les opérateurs humains ne peuvent pas toujours assurer de manière pratique. L'apprentissage par la découverte peut produire des solutions à ces problèmes et est donc un sujet essentiel pour les travaux de recherche futurs.

L'équipe du projet se donne les objectifs suivants : la modélisation de la classification des mécanismes des maladies, la sélection ou le développement d'un paradigme de découverte de classes qui reflète les caractéristiques du modèle résultant, et l'implantation du paradigme et l'évaluation de sa performance pour la classification d'une base de données sur la dégénérescence familiale de la rétine (DFR). La réalisation de ces objectifs nécessite l'élaboration de méthodes de représentation et de mémorisation de données médicales complexes dans un format compréhensible par une machine.

L'apprentissage par la découverte part de données observées pour arriver à de nouvelles connaissances sous forme d'une structure précédemment inconnue. L'importance accordée aux données médicales découle de la participation au projet d'un expert médical, de l'accessibilité des données fournies par cet expert et du fait que nous prévoyons que le projet donnera lieu à des conclusions médicales utiles.

Une étude de la littérature médicale et en intelligence artificielle (IA) a révélé peu d'exemples de travaux sur l'apprentissage par la découverte ou l'apprentissage par la machine. Toutes les citations médicales, sauf une, font référence à des méthodes numériques pour la classification à partir de données observées seulement. L'un de nos objectifs est l'application des méthodes basées sur les connaissances de manière à découvrir si elles donneront de meilleurs résultats que les méthodes numériques. La littérature en IA contient des modèles basés sur les connaissances et des paradigmes associés qui imitent la performance humaine à des degrés divers.

Il existe deux approches opposées pour l'implantation des automatismes. L'une des approches commence par l'étude du comportement humain. Le résultat est un modèle anthropomorphique de description du processus. L'autre méthode commence par une inspiration ingénieuse qui résulte en un modèle purement synthétique. L'implantation par les deux approches est terminée, sous forme d'un artéfact basé sur chaque modèle. Par exemple, on souligne le contraste entre les membres mécaniques et des roues de locomotion et, dans ce cas, le modèle synthétique offre plusieurs avantages importants. L'équipe du projet adopte l'approche anthropomorphique ainsi que l'approche synthétique pour la modélisation et l'implantation du savoir-faire de classification.

L'approche anthropomorphique a résulté en la production d'un modèle du savoir-faire de classification des cliniciens. La notion qui veut que les médecins utilisent leur formation et leur savoir-faire pour classifier les maladies est au coeur de ce modèle. Le savoir-faire relevé est fondé sur la perception de différences entre les classes d'après un certain nombre de critères de classification basés sur les connaissances d'un expert et sur des observations faites par un expert. Toutefois, le modèle pose certains problèmes d'implantation. Par contre, l'approche synthétique est facilitée par l'existence de quelques paradigmes que l'équipe peut évaluer en fonction de la performance de classification.

Avant le début du projet, il n'existait pas de base de données sur la DFR en forme compréhensible par les machines. Une bonne partie de nos travaux cette année a porté sur la création d'une version pilote de la base de données et sur les essais cliniques permettant d'obtenir les données nécessaires à cette fin. L'équipe a développé un modèle de relations d'entités pour les données, à partir duquel on a entrepris la construction de la base de données. Lorsque la version pilote sera terminée, elle contiendra des dossiers sur 54 sujets holotypiques représentant six classes non inclusives de DFR à partir d'une classification actuelle un peu

imprécise et environ 100 dossiers de sujets non holotypiques. (L'holotype d'une classe est la description d'un individu qui représente le mieux cette classe. L'individu peut être un sujet réel ou imaginaire, comme c'est le cas lorsque des attributs composites proviennent de plus d'un sujet.)

Le développement d'un modèle de classification des maladies s'est fait en parallèle avec la création de la base de données. En principe, l'introduction de connaissances additionnelles sur le domaine dans le processus de classification devrait améliorer la classification. À mesure qu'avançait l'exercice de modélisation, la relation entre le modèle de données et les connaissances du domaine était de plus en plus évidente, ce qui tend à confirmer notre idée. L'hypothèse selon laquelle ces deux entités sont inséparables semble donc validée et les faits suggèrent qu'il pourrait être nécessaire de réaliser simultanément la base de connaissances et la base de données.

Le second chercheur de l'équipe a récemment étudié certains modèles de rechange et leurs paradigmes associés pendant un séjour de trois mois au Turing Institute, un centre de recherche et développement en IA au Royaume-Uni. L'expérience acquise a permis à l'équipe du projet d'identifier les méthodes d'implantation d'un prototype.

■ Sciences de la vie dans l'espace

■ A.J. Mortimer – R.C. Black

Au cours des cinq dernières années, le Laboratoire de génie biomédical a participé au développement des sciences de la vie dans l'espace en collaboration avec la Division de l'espace. Nos activités comprennent la planification, l'organisation, la distribution de l'information et les travaux de coordination et de préparation liés au vol. Les recherches en microgravité peuvent maintenant s'effectuer sur une grande variété de transporteurs : le KC-135, l'avion-école à réaction T-33, les fusées de sondage, la navette spatiale et les satellites biologiques. Les chercheurs canadiens participent maintenant à des recherches dans les secteurs suivants : le système neuro-vestibulaire, le métabolisme calcique et osseux, la consommation énergétique, l'embryologie, les phénomènes cardiovasculaires et cérébrovasculaires, les changements de posture, la télémédecine et la cristallisation des protéines.

La planification à long terme comprend le développement d'occasions de participation à la station spatiale lorsque des installations seront disponibles au milieu des années 1990. On a manifesté beaucoup d'intérêt pour des travaux en collaboration visant l'évaluation de l'installation des soins de santé de la station spatiale dans le Grand Nord canadien. De plus, des travaux internationaux seront nécessaires pour le développement de systèmes de recherche spéciaux. Des groupes de travail conjoints sont en cours de développement avec des partenaires internationaux qui nous permettront d'accroître le niveau de ces collaborations.

MÉMOIRES RÉCENTS — SECTION DE GÉNIE MÉDICAL

Publiés

- ☐ Black, R.C. A report on «Spacebound 87, The First Canadian Workshop on R&D Opportunities on Board the Space Station.» Compte rendu de 13e Congrès canadien de génie biomedical, Halifax (N.-É.). 9–12 juin 1987. p. 209. (Long résumé.) CNRC 29159.
- ☐ Black, R.C., et Roy, O.Z. Biomedical engineering activities of the National Research Council of Canada. Compte rendu de Congrès du centenaire du génie canadien, Montréal (Qué.). 18–22 mai 1987. (Long résumé.)
- ☐ Black, R.C., et Roy, O.Z. A survey of biomedical technology within the NRCC. Conseil national de recherches, Ottawa (Ont.). Juin 1987. 9 pages.
- ☐ Black, R.C., St. George, M., Gilbert, S., et Armstrong, G.W.D. Contoured anterior spinal fixation plate. Compte rendu de 13e Congrés canadien de génie biomédical, Halifax (N.-É.). 9–12 juin 1987. pp. 3–5. CNRC 29158.

- BLACK, R.C., ROY, O.Z., ET DESLAURIERS, R. A laboratory program for biomedical technology at the NRCC. Annexe au «Health Care Cost Containment Initiative». Presenté au Conseil, septembre 1987. 10 pages. CNRC 29174.
- BLACK, R.C., GARDNER, V.O., ARMSTRONG, G.W.D., O'NEIL, J., ET ST. GEORGE, M. A contoured anterior spinal fixation plate. Clin. Orthop. 227: 135–142; 1988. CNRC 29163.
- CRUM, L.A., WALTON, A.J., MORTIMER, A., DYSON, M., ET CRAWFORD, D.C. Free radical production in amniotic fluid and blood plasma by medical ultrasound. J. Ultrasound Med. 6: 643–647; 1987. CNRC 29164.
- FORESTER, G.V., PETERSON, E.A., ET ROY. O.Z. Effect of therapeutic level ultrasound on visual evoked potentials in the hypoxic cat. Ultrasound Med. Biol. 13(5): 259–265; 1987. CNRC 27838.
- FORESTER, G.V., GEOFFRION, Y., ROY, O.Z., SMITH, I.C.P., ET MORTIMER, A.J. Ultrasound induced increase in myocardial contractility: Metabolic effects measured by P31 MR spectroscopy. Compte rendu de 13e Congrès canadien de génie biomédical, Halifax (N.-É.). 9–12 juin 1987. pp. 171–172. CNRC 29172.
- HRANCHUK, K.B., DURIE, N.D., ET EHRENWORTH, J. Research methods to assess training techniques for severely retarded children, using various devices. Proceedings of the Conference on Technology for the Developmentally Delayed, Ottawa (Ont.). 1er–2 octobre 1987. pp. 29–33. CNRC 29154.
- KORBA, L.W., BLACK, R.C., MURNAGHAN, J.P., LOVAS, M., ET MCSHEFFREY, L. Three dimensional shoulder joint measurement. Proceedings of the 10th Annual Conference on Rehabilitation Engineering, San José (CA). 19–23 juin 1987. pp. 338–340. CNRC 29162.
- KORBA, L.W., NELSON, P.J., ET PARK, G.C. The MOD Keyboard: a progress report. Proceedings of the 10th Annual Conference on Rehabilitation Engineering, San José (CA). 19–23 juin 1987. pp. 699–701. CNRC 29161.
- MCLEAN, J.R., ET MORTIMER, A.J. A cavitation and free radical dosimeter for ultrasound. Ultrasound Med. Biol. 14(1): 59–64, 1988. CNRC 29157.
- MORTIMER, A.J. Experimental science in the period before Space Station. «87, Objectif espace», Premier atelier canadien sur les possibilités de R et D à bord de la station spaciale, Ottawa (Ont.). 8 mai 1987. pp. 113–114. (Long résumé.) CNRC 29156.
- MORTIMER, A.J., ET TROLLOPE, B.J. Altered myocardial contractility with pulsed ultrasound. Ultrasound Med. Biol. 13(9): L567–L569; 1987. CNRC 29160.
- ROY, O.Z., TROLLOPE, B.J., ET SCOTT, J.R. Measurement of regional cardiac fibrillation thresholds. Med. Biol. Eng. Comput. 25: 165–166; 1987. CNRC 29155.
- ROY, O.Z., FORESTER, G.V., ET MORTIMER, A.J. The biological effects of ultrasound: an overview. Proceedings of the VIIth Nordic Meeting on Medical and Biological Engineering, Trondheim, Norvège. 28 juin – 1er juillet 1987. pp. 1–6. (Invité.) CNRC 29173.

Présentés

- BATELAAN, J., ET NELSON, P.J. Development of assistive devices for handicapped persons within the Laboratory for Biomedical Engineering. CNRC/DGE Association de la Science, Ottawa (Ont.). 9 février 1988.
- BLACK, R.C. Kinesiology: basic concepts. Série de conférences en génie biomédical, Hôpital Général d'Ottawa, Ottawa (Ont.). 7 janvier 1987.
- BLACK, R.C. A historical perspective of the development of the Canadian Space Life Sciences program and a review of its current activities. NASA/Canada Life Sciences Planning Meeting, Washington (DC). 13 janvier 1987.
- BLACK, R.C. Kinematics: basic concepts. Série de conférences en génie biomédical, Hôpital Général d'Ottawa, Ottawa (Ont.). 4 février 1987.
- BLACK, R.C. Non-evasive estimation of bone strength. Séminaire, Disorders and Treatment of the Musculo-Skeletal System, Hôpital Civic d'Ottawa, Ottawa (Ont.). 13 février 1987.
- BLACK, R.C. Gait analysis. Série de conférences en génie biomédical, Hôpital Général d'Ottawa, Ottawa (Ont.). 4 mars 1987.

- ☐ BLACK, R.C. A summary of presentations pertaining to Life Sciences. «87, Objectif espace», Premier atelier canadien sur les possibilités de R et D à bord de la station spaciale, Ottawa (Ont.). 6–8 mai 1987.
- ☐ BLACK, R.C., ARMSTRONG, G.W.D., ST. GEORGE, M., GILBERT, S., ET GARDNER, V. The development and assessment of an anterior fixation plate. Cours «Disorders and Treatment of the Musculoskeletal System», Hôpital Civic d'Ottawa, Ottawa (Ont.). 20–21 février 1987.
- ☐ BLACK, R.C., GARDNER, V.O., ARMSTRONG, G.W.D., ET ST. GEORGE, M. Anterior spinal fixation plate. 21st Annual Meeting of the Canadian Orthopedic Research Society, London (Ont.). 14–17 juin 1987.
- ☐ CRABTREE, D. Paradigmes de découverte pour la classification taxonomique des maladies. Département de génie électrique, École Polytechnique, Montréal (Qué.). 9 décembre 1987.
- ☐ CRABTREE, D., BRAHAN, J.W., MOUNT, H.T.J., NIKTASH, M., ET PRESSMAN, I.S. Finding order in chaos. Annual Conference of the Canadian Advanced Technology Association, Ottawa (Ont.). 18 avril 1988.
- ☐ DURIE, N.D., HRANCHUK, K., ET NELSON, P.J. Technology to assist in community integration of the mentally handicapped. 3e Congrès canadien de réadaptation, Québec (Qué.). 2–5 juin 1987.
- ☐ DURIE, N.D. HRANCHUK, K., ET NELSON, P.J. Technology and the developmentally disabled: some recent work at the National Research Council. Canadian Physiotherapy Association 1987 Annual Congress, Saint John (N.-B.). 11 juin 1987.
- ☐ FOULDS, R., NEWELL, A., SOEDE, M., HUNNICUTT, S., ARNOTT, J., HECKATHORNE, C., ET NELSON, P.J. Research and applications of lexical prediction in augmentative communication. Séminaire, RESNA '87: 10th Annual Conference on Rehabilitation Technology, San José (CA). 19–23 juin 1987.
- ☐ FOUX, A., BLACK, R.C., ET UHTHOFF, H.K. Flexural rigidity (EI) asymmetry in beagle femora. SIROT 87, IVth World Congress, Munich, Allemagne. 15–17 août 1987.
- ☐ FOUX, A., BLACK, R.C., ET UHTHOFF, H.K. Healing evaluation of plated bones by flexural rigidity (EI) asymmetry changes. International Society for Fracture Repair, Inaugural Meeting. 31 août – 2 septembre 1987.
- ☐ KORBA, L.W., PARK, G.C., ET NELSON, P.J. Living with the MOD Keyboard. 3e Congrès canadien de réadaptation, Québec (Qué.). 2–5 juin 1987.
- ☐ MORTIMER, A.J. Ultrasound therapy. Centre de réadaptation d'Ottawa, Ottawa (Ont.). 4 mars 1988.
- ☐ MORTIMER, A.J. Cavitation and membrane transport of calcium. Allerton Meeting on Ultrasound Biophysics, Monticello (IL). 26 mai 1987.
- ☐ MORTIMER, A.J. The effect of ultrasound on membrane transport in living systems. Université Carleton, Ottawa (Ont.). 21 septembre 1987.
- ☐ MORTIMER, A.J. Directions for life sciences research in Canada. American Society for Gravitational and Space Biology Annual Meeting, Logan (UT). 21 octobre 1987.
- ☐ MORTIMER, A.J. Recent advances in ultrasound therapy. Departement de physiothérapie, Centre de réadaptation d'Ottawa, Ottawa (Ont.). 4 novembre 1987.
- ☐ MORTIMER, A.J., ET DYSON, M. Ultrasound enhanced calcium transport in fibroblasts. 32nd Annual Meeting of the American Institute of Ultrasound in Medicine, New Orleans (LA). 9 octobre 1987.
- ☐ NELSON, P.J. Recent developments in assistive devices for communications disabilities. Séries de colloques de printemps, Élisabeth Bruyère Health Centre, Ottawa (Ont.). 7 mai 1987.

UNITÉ DE TECHNOLOGIE DE LA RÉADAPTATION

Chef de section — J. Batelaan

■ Introduction

Le programme de développement de l'Unité a évolué depuis 15 ans. En 1973, monsieur Bud Cairns de Toronto, un quadraplégique, a convaincu des représentants gouvernementaux d'accorder le soutien nécessaire à la production du système de gestion de l'environnement qu'il avait développé pour son usage personnel. Il voulait en premier lieu mettre à la disposition d'autres personnes atteintes de handicaps sévères cette aide à la réadaptation, à un coût raisonnable. Le système électronique, appelé TOSC, permettait aux utilisateurs d'actionner le téléphone, l'interphone, le téléviseur, l'éclairage, etc. au moyen d'une série de commutateurs du type, par exemple, à souffle ou à aspiration.

Un groupe de production technique des services de prosthétique de Santé et Bien-être social Canada a décidé de coordonner la production de ce système. Un certain nombre de commutateurs d'introduction alternatifs, maintenant appelés commutateurs spéciaux, ont été développés pour offrir aux personnes handicapées des options pour commander leurs appareils. Le groupe a de plus assuré la coordination de la production d'aides à la réadaptation développées à l'origine par d'autres chercheurs dans des universités, des centres de réadaptation et des hôpitaux. En 1978, le groupe de développement est passé au Centre national de recherches du Canada et a pris le nom d'Unité de technologie de la réadaptation (UTR).

La fondation d'un organisme de commercialisation des aides à la réadaptation a été une étape essentielle au succès subséquent de ce programme de développement. Une compagnie à but non lucratif appelée Technologie au Services des Personnes Handicapées Inc. (TASH) a été fondée en 1979 sous l'égide du Conseil canadien de la réadaptation des handicapés.

Les principales composantes du programme ont été implantées. De nouveaux aides à la réadaptation pour les personnes gravement handicapées sont en cours de développement par divers organismes, y compris l'UTR, et par des individus. L'Unité de technologie de la réadaptation assure le développement depuis le prototype jusqu'au produit commercial, à condition qu'il réponde aux critères établis par des évaluateurs externes. Il assure aussi le transfert de technologie à une industrie qui possède la compétence et la volonté nécessaires à la fabrication du produit dans un petit lot de production d'environ 50 à 100 exemplaires. L'organisme de commercialisation, TASH Inc., achète les produits des divers fabricants et vend directement les aides aux utilisateurs ou indirectement par l'intermédiaire de vendeurs.

À l'heure actuelle, TASH Inc. vend plus de 80 produits distincts, et plus de 90 % d'entre eux résultent directement du programme de développement des produits. La gamme de produits compte des articles relativement simples comme le matériel de montage des commutateurs et les guide-touches des claviers informatiques, et aussi 10 aides techniques basées sur microprocesseur et une grande variété de commutateurs spéciaux. TASH Inc. emploie à l'heure actuelle huit personnes et on prévoit que les ventes en 1988 atteindront 1,5 million de dollars. Plus de 60 % des ventes se font à l'extérieur du Canada, surtout aux État-Unis.

■ Technologie de la production d'aides pour handicapés

■ J. Batelaan – W.G. Bennett – I.P. Clark – A.W. Liu

Cette année, une part importante des travaux de développement ont porté sur l'apport d'améliorations aux aides techniques déjà commercialisées par TASH Inc. Par exemple, le guide-touches de l'Apple IIe a été modifié en fonction de la dernière version du clavier de cet ordinateur. D'autres articles ont été modifiés de manière à réduire les coûts de fabrication ou à leur ajouter d'autres fonctions. Au moins 14 articles distincts ont été améliorés. L'un des projets les plus complexes et les plus importants présentement en cours

est l'interface de fauteuil roulant pour les fauteuils électriques. Nous décrivons plus en détail ce système, appelé DIRECT, dans les paragraphes qui suivent.

Le système DIRECT

Les fauteuils roulants sont normalement dirigés au moyen d'une manette proportionnelle, ce qui permet à l'opérateur d'appliquer une plage illimitée de signaux d'entrée au module de commande du fauteuil. Trois signaux analogiques sont interprétés par le module de commande et servent à déterminer la vitesse et la direction de rotation des roues motrices. Toutefois, les handicapés visuels ne peuvent utiliser la manette courante.

Il y a quatre ans, on a conçu un module qui permet à des commutateurs séparés d'imiter les signaux produits par une manette proportionnelle. Une manette standard à quatre positions peut produire au total huit combinaisons distinctes de fermeture des commutateurs. L'opérateur peut choisir au moyen d'une manette l'une des huit combinaisons possibles de vitesse du moteur et de direction de rotation. Ces huit combinaisons ont été choisies soigneusement pour assurer la plus grande mobilité du fauteuil. À l'inverse de la manette proportionelle que l'on pousse plus loin pour accélérer le fauteuil, les commutateurs de commande ne produisent qu'un signal MARCHE/ARRÊT. La vitesse est donc choisie par l'opérateur au moyen d'un cinquième commutateur dans la manette, qui offre trois options.

Deux produits sur le marché découlent de ces premiers appareils, le contrôleur Commander du fauteuil roulant Fortress et le contrôleur Pilot pour les fauteuils Everest et Jennings. Ces modules incorporent aussi, pour des raisons de commodité, la possibilité de télécommander des appareils dans l'environnement immédiat de l'utilisateur comme, par exemple, l'éclairage et des appareils domestiques équipés des récepteurs appropriés.

Par suite de la popularité de ces modules (1000 exemplaires vendus à date), on a développé des modules d'interface additionnels qui permettent de commander le fauteuil avec seulement deux commutateurs. Des codes formés de fermetures de longue et courte durée d'un des deux commutateurs permettent le recours à un commutateur double placé derrière la tête ou à un commutateur par souffle/aspiration pour le pilotage du fauteuil.

Le système DIRECT est une interface de fauteuil roulant à microprocesseur qui comprend les fonctions décrites ci-dessus intégrées en une seule unité. Il offre à l'utilisateur le choix de trois interfaces de commutateur pour la commande du fauteuil et des fonctions de télécommande environnementales. Il s'agit de l'interface à manette de menton à cinq commutateurs, d'une interface de commande de tête à deux commutateurs, et d'une interface à deux commutateurs par souffle/aspiration. Ces interfaces de commutateurs sont destinées à des utilisateurs qui ne peuvent conduire leur fauteuil roulant au moyen de la manette proportionnelle standard. Le système de contrôle environnemental transmet des signaux (infrarouges et ultrasons) compatibles avec des récepteurs éloignés présentement disponibles pour la commande de l'éclairage, de postes radio, de téléviseurs et d'autres appareils domestiques. DIRECT comporte une autre fonction, la prise en main par le responsable qui doit aider au déplacement du fauteuil lorsque l'utilisateur le demande ou ne peut piloter lui-même le fauteuil.

DIRECT est en deux parties, une unité de commande principale montée derrière le fauteuil et une petite unité d'affichage reliée à l'unité principale. L'unité d'affichage utilise des DEL sur un affichage graphique pour indiquer les fonctions activées. On prévoit que lorsque l'utilisateur sera familiarisé avec le dispositif, il suffira de produire des retours audio sous forme de bips pour qu'il utilise efficacement l'interface.

L'utilisation d'un microprocesseur a considérablement réduit la complexité du matériel du module, ce qui réduit le coût total. Elle assure aussi l'universalité du matériel avec seulement quelques modifications mineures du logiciel et du câble d'interconnexion nécessaire pour l'adapter à tout fauteuil roulant. Le microprocesseur assure aussi la polyvalence pour les expériences à venir. Il pourrait être possible d'apporter

des modifications au logiciel pour améliorer la commande du logiciel par des fonctions comme, par exemple, une surintensité d'alimentation en basse vitesse, une plage infinie de commande de la vitesse, la commande d'accélération et de décélération et le retour de vitesse de manière à améliorer la poursuite.

DIRECT a été développé dans le cadre d'un contrat avec MARFtec Inc. de Scarborough en Ontario, en conformité de spécifications d'exploitation et de conditionnement matériel précisées par l'UTR. Un concept de seconde génération est en cours de développement en vue de la fabrication pleine échelle; on prévoit que le système sera sur le marché au début de l'automne.

MÉMOIRES RÉCENTS — UNITÉ DE TECHNOLOGIE DE LA RÉADAPTATION

Présenté

- ☐ Batelaan, J., et Nelson, P.J. Development of assistive devices for handicapped persons within the Laboratory for Biomedical Engineering. CNRC/DGE Association de la Science, Ottawa (Ont.). 9 février 1988.

LABORATOIRE DE GÉNIE ÉLECTROMAGNÉTIQUE ET D'ÉNERGIE

Chef de laboratoire (par intérim) — M.M.C. Collins

■ Objectif

- Établir, au moyen de recherches appliquées en collaboration avec des compagnies d'électricité et fabricants canadiens et avec d'autres ministères, des normes, des procédures d'essai et des connaissances techniques dans les domaines suivants : mesures de précision, compatibilité électromagnétique et diélectriques.

Sous-objectifs

- Prévoir les besoins relatifs aux mesures électriques de l'industrie canadienne de l'électricité et y répondre en développant des appareils et techniques de mesure de pointe et en établissant des connaissances de base relatives à des activités critiques comme l'élaboration de normes nationales et internationales relatives aux mesures de chocs à haute tension et aux essais de vieillissement accéléré de matériel et matériaux électriques.
- Améliorer la compréhension du parasites électromagnétiques (EMI) et de la compatibilité électromagnétique (EMC) afin de développer des appareils de diagnostic et des installations d'étalonnage et d'essai et de contribuer à l'élaboration de normes nationales et internationales dans ces domaines.

■ Description du programme

Le groupe des mesures de précision a concentré ses efforts sur le développement de techniques et d'appareils pour mesurer avec précision des grandeurs électriques telles que courant, tension et puissance en faisant appel à la technologie de pointe des microprocesseurs. Il cherche à augmenter la précision de ces mesures et à inclure l'effet des formes d'onde déformées sur les appareils de mesurage, qui est un grand problème des compagnies d'électricité et de l'Association canadienne de normalisation. En Amérique du Nord, le CNRC est le chef de file dans ce type de mesures. Nous avons réalisé une installation pour l'étalonnage d'étalons secondaires pour l'industrie et aux fins de comparaison internationale. De plus, grâce au développement en laboratoire et à sa participation à un programme international d'assurance des mesures, le groupe maintient un circuit moderne de mesure de chocs HT pour l'étalonnage de circuits industriels. Un aspect important de ces travaux est l'utilisation d'enregistreurs numériques en haute tension. Ces travaux contribuent beaucoup aux normes nationales et internationales.

Le groupe des isolants électriques s'occupe du développement d'essais normalisés de vieillissement accéléré et de diagnostic d'isolants électriques utilisés dans le matériel électrique. Ces essais nécessitent une certaine connaissance des mécanismes de base de la détérioration à long terme d'isolants électriques soumis à de fortes contraintes électriques et aux contraintes externes. Les nouveaux essais et techniques de mesure suivent une méthode mécaniste plutôt que la méthode empirique utilisée auparavant. Un sous-produit de ces travaux est le développement d'isolants plus résistants au vieillissement, ce qui représenterait une économie considérable pour les compagnies d'électricité et les fabricants. Le groupe participe également à une comparaison internationale d'essais d'évaluation d'isolants électriques.

En 1980, la Division de génie électrique a lancé un projet ayant pour but d'étudier les impulsions ultrarapides associées aux lasers. Ce groupe a élargi ses horizons et s'occupe maintenant de la modélisation et de

la simulation des effets des impulsions électromagnétiques de foudre (LEMP) et d'origine nucléaire (NEMP). La compétence acquise dans ce domaine a mené à un projet commun avec le ministère de la Défense nationale (MDN) visant à développer une grande installation d'essai NEMP et à continuer à développer les aptitudes de modélisation du CNRC. Ce projet fait déjà l'objet d'un accord conclu avec le MDN.

Orientations et priorités futures

Les travaux et objectifs envisagés sont continuellement modifiés grâce à des discussions officielles et officieuses avec des représentants de l'industrie.

Voici les projets actuels :

- Améliorer les installations d'étalonnage en augmentant la plage de fréquences et par l'automatisation.
- Participer à l'établissement du nouveau Programme des normes et des mesures de précision, qui est un programme interdivisionnel.
- Compléter les normes internationales sur les mesures de chocs HT.
- Poursuivre les recherches relatives aux mécanismes qui détériorent les isolants HT ainsi que le développement d'essais de vieillissement accéléré.
- Concevoir et construire des générateurs d'impulsions pour l'injection du courant et la production du champ électrique nécessaires aux essais effets d'impulsions électromagnétiques.

Clients et collaborateurs

Le Laboratoire demeure en contact avec une vaste gamme de clients extérieurs, qui contribuent à la planification des programmes, participent au programmes et utilisent la technologie et les dispositifs développés. Les discussions avec les compagnies d'électricité et leurs organisations de recherches ainsi que celles des réunions des comités de l'Association canadienne de l'électricité (ACE), de l'Association canadienne de normalisation (ACNOR) et de l'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) fournissent des informations et commentaires utiles aux projets. Des représentants de ces organisations participent à la planification conjointement avec le personnel du CNRC. Des entreprises comme Guildline Instruments Ltd. et Multi-Amp Canada Limited fabriquent des dispositifs développés par le CNRC. Notre technologie et notre compétence sont utilisées par les comités de l'ACE, de l'ACNOR et de l'IEEE, par les fabricants et par d'autres organismes du gouvernement.

Les travaux dans les domaines du brouillage et de la compatibilité électromagnétiques sont fortement appuyés par le ministère de la Défense nationale. Un membre de notre personnel travaille actuellement dans ses laboratoires. De plus, des contacts ont été établis avec l'industrie canadienne et d'autres ministères au sujet de l'analyse et des mesures des impulsions électromagnétiques.

Des projets communs de recherches et des recherches de coopération avec neuf organisations de recherches de compagnies d'électricité sont en cours ou ont été achevés l'année passée. Neuf visiteurs de Chine ont travaillé avec le groupe des mesures de précision, en vertu d'un contrat avec British Columbia Hydro International, pendant des périodes allant de 1 à 12 semaines.

Événements importants

- Signature d'un mémoire d'entente avec le MDN au sujet d'un effort commun dans la recherche sur les impulsions électromagnétiques et du développement des installations du MDN.
- Évaluation de l'efficacité de divers stabilisants uv à empêcher la formation d'arborescences électriques dans l'isolant extrudé de câbles HT.

- Développement d'un wattmètre à plusieurs calibres, à répartition dans le temps et d'une précision supérieure à 100 ppm jusqu'à 1 kHz. Cela correspond à une augmentation de la plage de fréquence d'un ordre de grandeur.
- Achèvement d'un projet de recherches commun avec le laboratoire de recherches d'Ontario Hydro pour évaluer une nouvelle technique de mesure de la rigidité diélectrique des isolateurs en porcelaine.
- Achèvement de la privatisation de certaines des installations de la Section de génie électromagnétique. La société MPB Technologies Inc., de Montréal, a conclu une entente avec le CNRC selon laquelle elle se servira des installations situées chemin de Montréal pour faire des recherches sur la conception et la mise au point d'antennes, les applications industrielles des micro-ondes, et les mesures diélectriques aux radiofréquences et hyperfréquences.
- Achèvement de l'étalonnage sur place de trois types de circuits de mesure de grands transformateurs d'alimentation à l'Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ) à l'aide de l'étalon de pertes dues à la charge développé par le groupe.
- Comparaisons des mesures de puissance électrique avec l'Institut Mihailo Pupin, Belgrade, Yougoslavie; le Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, République fédérale allemagne; et le National Bureau of Standards, Gaithersburg, États-Unis. Il y avait concordance des résultats à 20 ppm près.
- Conception et construction d'un appareil pour effectuer des essais de courant à stimulation thermique sur des polymères. Ces essais clarifieront le rôle des charges piégées dans la détérioration des isolants.
- Établissement d'un étalon de transfert pour les mesures de chocs à haute tension et comparaison des précisions obtenues entre les laboratoires nationaux du Canada, de l'Allemagne, du Royaume-Uni et des États-Unis.
- Achèvement d'une étude de l'effet de la température sur la croissance des arborescences d'eau dans les isolants extrudés de câbles HT.
- Achèvement d'une étude préliminaire et des mesures des effets du couplage des NEMP dans les lignes de télécommunications.
- Achèvement des mesures des pertes à haute fréquence de trois bobines inductives pour un fabricant canadien.
- Contribution aux normes de la Commission électrotechnique internationale (CEI) et de l'IEEE sur les techniques numériques en mesure de chocs à haute tension. Ce fut la première fois que les techniques numériques aient été incorporées dans ces normes.
- Contribution à la révision de la publication 60 de la CEI, *Techniques des essais à haute tension — Circuits de mesure*. Cette révision a eu pour résultat la simplification des essais de qualification des circuits de mesure de tensions de choc.
- Reconnaissance de plusieurs membres du Laboratoire par leurs confrères à l'externe : R.J. Densley a été nommé membre de l'IEEE; E. So a reçu le prix d'excellence du Power Engineering Society Committee on Power Systems Instrumentation and Measurement de l'IEEE pour sa publication «The Application of the Current Comparator for HV Power Measurement at Very Low Power Factors»; deux étudiants stagiaires ont gagné des prix pour leur travail au sein du groupe pendant leur stage — l'un a remporté le Eastern Newfoundland Engineering Society Prize, et l'autre, le prix d'excellence pour étudiants attribué par l'Association of Professional Engineers de la Colombie-Britannique.
- Publication d'un livre, *The Current Comparator*, par W.J.M. Moore et P.N. Miljanic.

SECTION D'ÉNERGIE

Chef de section — W.J.M. Moore

■ Introduction

La Section d'énergie est constituée de trois groupes : mesures de précision, isolants électriques et brouillage électromagnétique/compatibilité électromagnétique (EMI/EMC). Chaque groupe s'occupe d'un aspect particulier de l'industrie de l'énergie électrique et a donc des objectifs légèrement différents.

L'objectif du groupe des mesures de précision est de prévoir les besoins relatifs aux mesures électriques de l'industrie canadienne et d'y répondre en développant de nouveaux appareils et techniques de mesure améliorés. Les domaines à l'étude sont les mesures de puissance (y compris les formes d'onde déformées), les références de tension dans le but d'améliorer la précision des mesures de tensions c.a. par rapport à un étalon c.c. et l'étalonnage de divers types d'appareils tels transformateurs de mesure et wattmètres. Une nouvelle activité majeure est l'étalonnage sur place de matériel d'essai utilisé par des fabricants de grands transformateurs d'alimentation et de bobines inductives à l'aide d'un simulateur de pertes dues à la charge de précision et à facteur de puissance réduit développé par le groupe.

L'objectif du groupe des isolants électriques est de déterminer les mécanismes de la détérioration à long terme d'isolants électriques soumis à de fortes contraintes électriques et de développer à partir de ces études de base des essais normalisés de vieillissement accéléré qui soient utilisables pour l'industrie. Le vieillissement accéléré doit être représentatif du vieillissement en service et ne doit pas introduire des mécanismes de vieillissement qui, normalement, ne se produisent pas en service. Les études se sont concentrées sur le vieillissement de polymères utilisés dans des câbles HT. Ces études ont montré que les mécanismes de vieillissement diffèrent selon que les câbles sont utilisés en milieu sec ou en milieu humide.

L'objectif du groupe du brouillage et de la compatibilité électromagnétiques est de faire avancer l'état actuel de la technique du domaine en cause tout en mettant l'accent sur les mesures d'impulsions utiles à l'industrie canadienne, à la sécurité publique et à la défense nationale. Ce groupe contribue aux normes nationales et internationales relatives au EMI et à la EMC et a établi des installations d'essai et d'étalonnage appropriées. Les activités principales du groupe se trouvent dans les domaines suivants : mesures du EMI, production du EMI, modélisation numérique, étalonnage des circuits de mesure et immunisation des circuits électroniques contre le brouillage électromagnétique.

■ Mesures de précision en électricité

■ W.J.M. Moore - E. So - P.S. Filipski - R. Arseneau - P.N. Miljanic[1]

Mesures de puissance et d'énergie

Le groupe continue de travailler à l'automatisation du fonctionnement du pont de mesure de puissance et à l'augmentation de sa capacité.

Le groupe a apporté un certain nombre d'améliorations au circuit de mesure triphasé non sinusoïdal. Un nouvel amplificateur de tension et deux nouveaux générateurs de signaux arbitraires ont été intégrés au circuit. Le groupe continue de travailler à la mise au point d'un nouveau logiciel pour automatiser les procédures d'essai.

Le groupe a entrepris un programme d'évaluation de compteurs d'électricité intitulé Système de mesurage optimal de charges à forte distorsion harmonique, en tant que projet commun avec la Nova Scotia Power Corporation, en vertu d'un contrat avec l'Association canadienne de l'électricité. Quinze compteurs ont été étudiés dans des conditions de formes d'onde déformées observées et enregistrées à sept endroits en Nouvelle-Écosse et en Alberta. Les résultats d'essai ont montré que certains indicateurs de maximum (kVA) présentent des erreurs de lecture de pas moins de −28 %.

[1]Agent de recherche visiteur.

Le groupe a développé un nouveau générateur étalon c.a. commandé par ordinateur pour la tension, l'intensité et la puissance sinusoïdales et déformées avec une précision en parties par million (ppm). Cette grande précision est obtenue par l'utilisation d'un comparateur de courant combiné à la commande par réaction et à correction aval des erreurs.

Une comparaison internationale de l'étalonnage des compteurs de puissance a été menée par le Conseil national de recherches Canada, Ottawa; le National Bureau of Standards, Gaithersburg, États-Unis; le Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, République fédérale allemagne; et l'Institut Mihailo Pupin, Belgrade, Yougoslavie. Les mesures ont été effectuées à 120 V, 5 A, 50 et 60 Hz à des facteurs de puissance de 1,0, de 0,5 capacitif et inductif, et de 0,0 capacitif et inductif. La concordance entre les laboratoires était supérieure à 25 ppm.

Le groupe a construit le prototype d'un wattmètre étalon et à répartition dans le temps. Une évaluation initiale de ce wattmètre a montré qu'il maintient une précision de 100 ppm à des fréquences jusqu'à 1 kHz. Le groupe poursuit les travaux pour augmenter la largeur de bande de fréquence de cet appareil. Trois de ces wattmètres seront incorporés dans un circuit d'étalonnage triphasé.

Transformateur de courant à circuit électronique

Le groupe poursuit les travaux pour augmenter les capacités du transformateur de courant à circuit électronique pour qu'il permette de mesurer toute composante c.c. du courant primaire.

Étalon de pertes dues à la charge

Les composants principaux de l'étalon de pertes (voir la figure 1) ont été mis au point et l'étalon a été utilisé pour l'étalonnage sur place de trois types de circuits de mesure des pertes de transformateur. Les travaux pour rendre l'étalon plus «portable» et plus convivial se poursuivent.

Convertisseur numérique/analogique de multiplication à 25 bits

Le convertisseur numérique/analogique de multiplication (MDAC) à 25 bits a été incorporé au générateur étalon de tension c.c. à comparateur de courant commandé par microprocesseur. Le logiciel nécessaire à l'interfaçage du générateur étalon avec un ordinateur à travers un bus IEEE-488 est en voie de développement.

Comparateur de tension alternative efficace/tension continue

Les travaux pour augmenter la largeur de bande du comparateur de tension alternative efficace/tension continue se poursuivent. Le groupe est en train d'évaluer un nouveau dispositif à semiconducteurs qui devrait remplacer le thermocouple multijonction classique.

Étalonnages

En 1987, le groupe a publié trente-sept rapports d'essai et d'étalonnage.

■ Mesures des chocs à haute tension

■ T.R. McComb

Recherches internationales sur les circuits de mesure de choc à haute tension

Les travaux dans ce domaine ont été assignés au groupe de travail 33.03 de la Conférence Internationale des Grands Réseaux Électriques à Haute Tension (CIGRE). Ce groupe de travail (dont T.R. McComb est le convocateur) sur les paramètres de réponse a poursuivi l'analyse des données recueillies au stade précédent de ces travaux et a fait des recommandations au groupe de travail 7 du comité technique 42 de la

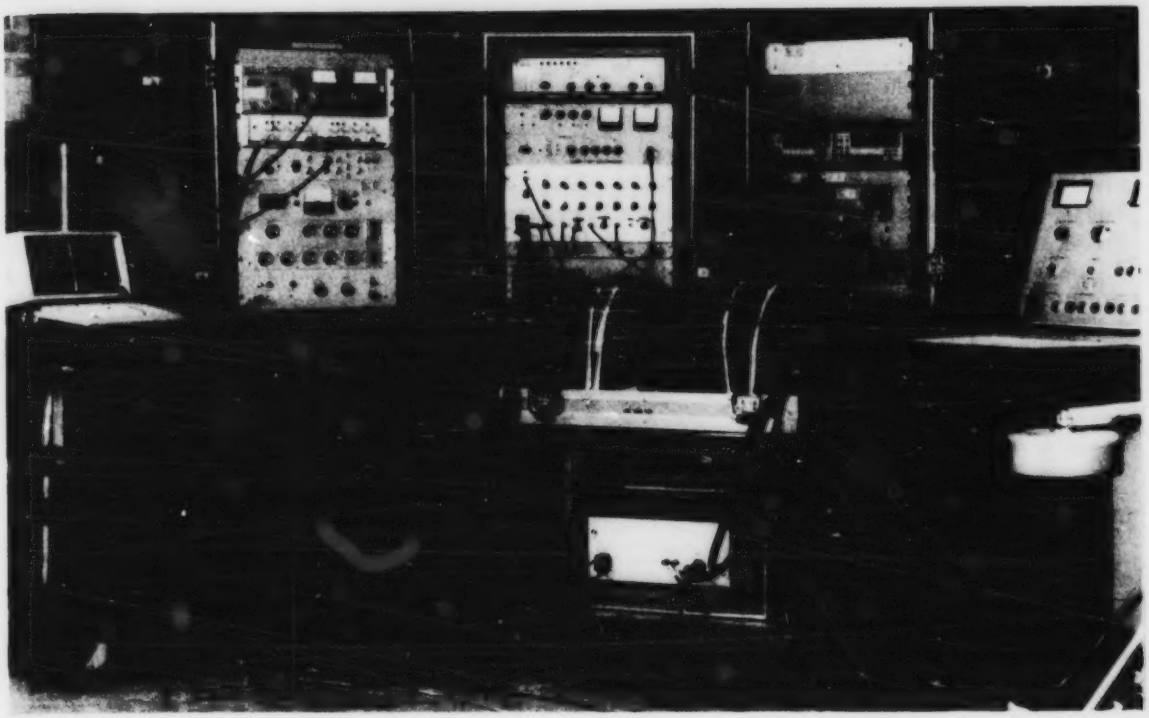


Figure 1 Étalon de pertes dues à la charge à comparateur de courant.

Commission électrotechnique internationale pour incorporation dans la publication 60-3 de la CEI, *Techniques des essais à haute tension. Partie 3, Techniques de mesure*. Le groupe a commencé des travaux pour établir un étalon de transfert approprié pour les mesures de chocs à haute tension avec des contributions du CNRC, du National Physical Laboratory and Central Electricity Research Laboratory du Royaume-Uni et du Physikalisch-Technische Bundesanstalt de la République fédérale allemande. Toute une gamme de circuits étalons ont fait l'objet des recherches et il y avait une concordance de jusqu'à 1 % entre les mesures de tensions de crête dues aux chocs de foudre pleins. Le groupe poursuit les travaux pour définir un circuit étalon approprié pour les mesures comparatives sous 500 kV.

Utilisation d'enregistreurs numériques dans les laboratoires de haute tension

Le projet de coopération de l'Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ), d'Ontario Hydro et du CNRC se poursuit. Au cours de l'année, les travaux se sont concentrés sur l'application de systèmes de traitement de signaux numériques et de systèmes intelligents à divers problèmes de mesure qui intéressent l'industrie de l'électricité. Une nouvelle initiative importante, qui est encore au stade de la planification, est le développement de circuits de mesure intelligents capables de relever des mesures à haute résolution en milieu bruyant pour déterminer sur place la décharge partielle et évaluer la durée résiduelle du matériel.

Normes

Les travaux de révision de la publication 60 de la CEI, *Techniques des essais à haute tension*, se poursuivent avec la participation du CNRC au groupe de travail 7, Révision des publications 60-3 et 60-4 de la CEI, et au groupe de travail 8, Enregistreurs numériques. Le groupe a préparé une révision exhaustive

de la publication 60-3 de la CEI; le document qui en résulte est basé sur la qualification de circuits de mesure par des mesures comparées avec un circuit étalon tributaire d'un laboratoire national de normalisation. Le projet de norme de la CEI sur les enregistreurs numériques a été révisé et sera probablement présenté à la réunion du comité technique 42 en octobre 1988.

Le groupe participe aux travaux du comité de l'IEEE sur les techniques numériques en mesures électriques (il s'agit en fait d'un sous-comité du comité chargé de l'étude des techniques et appareils de mesure pour systèmes d'alimentation) et aux travaux du comité de l'IEEE sur la mesure et l'analyse des formes d'onde. Des études sur la performance dynamique d'enregistreurs numériques de forme d'onde sont en cours.

Aide à l'industrie

À la demande de l'industrie, le groupe a donné des conseils sur la réduction du brouillage électromagnétique dans divers systèmes prototypes et sur la protection contre la foudre.

Recherche sur la foudre

Le Conseil national de recherches Canada participe à un projet de l'Association canadienne de l'électricité portant sur la mesure des densités de coups de foudre au sol au Canada.

■ Isolants électriques

■ R.J. Densley – A. Bulinski – S.S. Bamji

Les recherches sur les processus de vieillissement et de détérioration dans des polymères utilisés comme isolants de câbles HT soumis à différentes contraintes se poursuivent.

Isolants utilisés en milieu humide

Les recherches sur le vieillissement d'isolants en milieu humide se sont concentrées sur trois aspects : le rôle de l'oxydation du polymère dans la formation d'arborescences d'eau, l'effet de la température sur la croissance des arborescences d'eau et sur le claquage de l'isolant, et le rôle des impuretés dans les écrans semiconducteurs de câbles dans la formation des arborescences d'eau.

Le rôle de l'oxydation dans la formation d'arborescences d'eau a été étudié dans le cadre d'un projet commun avec l'Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ) pour le compte de l'Electric Power Research Institute (EPRI). Le groupe a essayé la stabilité à l'oxydation et vérifié la présence d'arborescences d'eau de plus de 100 spécimens de câbles vieillis en service provenant de 20 compagnies d'électricité, dont 11 américaines et 9 canadiennes. Les essais ont montré que des câbles de différents emplacements peuvent présenter des caractéristiques d'oxydation sensiblement différentes mais que la plupart des câbles présentaient des temps réduits à l'oxydation dans la région voisine de la surface de l'isolant. Les isolants comportant des arborescences d'eau ont toujours présenté une stabilité inférieure à l'oxydation comparativement aux isolants sans arborescences d'eau. Cela indique que la formation d'arborescences d'eau se produit de préférence dans des régions plus oxydées de l'isolant ou que c'est la formation d'arborescences d'eau qui entraîne l'oxydation. Ces études se poursuivront en laboratoire et se concentreront sur l'effet de l'oxydation initiale de l'isolant sur la formation et la croissance des arborescences d'eau et sur le claquage du spécimen.

Des études de l'effet de la température sur la croissance d'arborescences d'eau et le claquage du polyéthylène indiquent que la température ne favorise pas la croissance d'arborescences mais qu'elle accélère effectivement le claquage de l'isolant. Ce facteur est important pour la sélection appropriée des conditions d'essai de vieillissement accéléré afin de déterminer la résistance de nouveaux matériaux à la formation d'arborescences d'eau. Comme la température élevée est une des contraintes majeures auxquelles l'isolant est soumis en service, la compréhension de ses effets est essentielle à l'évaluation de la fiabilité des isolants. Le groupe envisage d'autres essais pour étudier le mécanisme de transition d'une arborescence d'eau à une

arborescence électrique. Cette transition est considérée comme le début du claquage de l'isolant. Ces essais seront effectués dans le cadre d'un projet commun avec l'IREQ et seront partiellement financés par l'ACE.

Le troisième projet, soit l'étude du rôle des impuretés dans les écrans de blindages semiconducteurs de câbles dans la formation d'arborescences d'eau, a été entrepris pour clarifier l'importance de la pureté des composés à semiconducteurs utilisés dans la fabrication des câbles pour la résistance de l'isolant du câble à la formation d'arborescences d'eau. Bien que l'importance de la propreté des produits isolants ait été démontrée et soit reconnue depuis un certain temps, la mesure dans laquelle les impuretés des écrans semiconducteurs commandent le processus de formation d'arborescences n'est pas connue et a été peu étudiée. Des essais préliminaires ont montré que des impuretés moulées dans les électrodes à semiconducteurs peuvent devenir les foyers de formation d'arborescences d'eau. Le groupe envisage d'autres essais pour trouver des mesures préventives ayant pour but d'enfermer les impuretés dans la couche à semiconducteurs. En cas de réussite, ce blocage pourrait également réduire l'effet des impuretés qui pénètrent normalement dans l'isolant de l'extérieur du câble par diffusion ou un autre processus.

Isolants utilisés en milieu sec

Le groupe a étudié l'effet de photostabilisants sur des polymères utilisés comme isolants et émettant un rayonnement ultraviolet à partir de régions limitées soumises à de fortes contraintes électriques. Il a été montré que dans le polyéthylène à faible masse spécifique (LDPE), dégazé et contenant une concentration réduite d'oxygène, les photostabilisants, tels qu'absorbeurs uv, photostabilisants constitués d'une amine encombrée et désactivateurs, empêchent la photodégradation du polymère. Auparavant, le groupe avait découvert que l'imprégnation de l'isolant d'azote augmente la tension de seuil de formation d'arborescences électriques. Il a été montré que, à tension constante, du LDPE imprégné de N_2 et dégazé contenant une petite quantité de photostabilisants forme des arborescences après des périodes beaucoup plus longues que celles que présentaient les échantillons sans stabilisants. Par contre, les photostabilisants n'étaient pas très efficaces dans le cas du LDPE contenant la quantité normale d'oxygène à l'état libre. Il en est ainsi parce que pendant l'application de la tension et l'émission de la lumière ultraviolette, l'oxygène est excité ou ionisé. De l'oxygène singulet est également formé par la désactivation des états triplet par l'oxygène moléculaire. De plus, comme l'oxygène est un gaz électronégatif, il capte quelques-uns des électrons injectés pour former du O_2^-, qui est très réactif et entraîne la détérioration rapide du polymère.

Il a été montré que le comportement temporel de l'électroluminescence avant la formation d'arborescences est indépendant des modes d'application de la tension, qu'elle soit maintenue à un niveau constant ou interrompue à plusieurs reprises. L' électroluminescence commence à peu près à la même tension et son intensité revient au niveau d'avant l'interruption. Ce comportement diffère de celui des décharges partielles qui se produisent pendant la croissance des arborescences. Il a été montré que, puisque l'isolant commence à se détériorer à des tensions supérieures au seuil d'électroluminescence, il faudrait concevoir les éclateurs utilisées pour protéger le matériel électrique tel que condensateurs, transformateurs et câbles de façon à limiter les chocs de foudre et de manoeuvre à des valeurs inférieures à la tension de seuil d'électroluminescence.

Par le passé, les méthodes d'essai développées pour évaluer et comparer la résistance de diélectriques organiques solides à la formation d'arborescences électriques ne tenaient pas compte de l'importance de la propreté des pointes d'aiguille utilisées pour les essais ou de l'interface formée entre l'aiguille et le polymère. La figure 2 représente les photomicrographies, obtenues à l'aide d'un microscope électronique à balayage, de pointes d'aiguille avant et après le nettoyage. Avant le nettoyage, la pointe est parfois déformée, et la surface, souillée. Les résultats des essais de l'effet de la préparation des échantillons ont montré que l'insertion des aiguilles dans un polymère chaud ou froid endommage habituellement les pointes d'aiguille. Le moulage sous pression du polymère autour de l'aiguille réduit considérablement la probabilité de ces dommages tout en augmentant la reproductibilité des résultats.

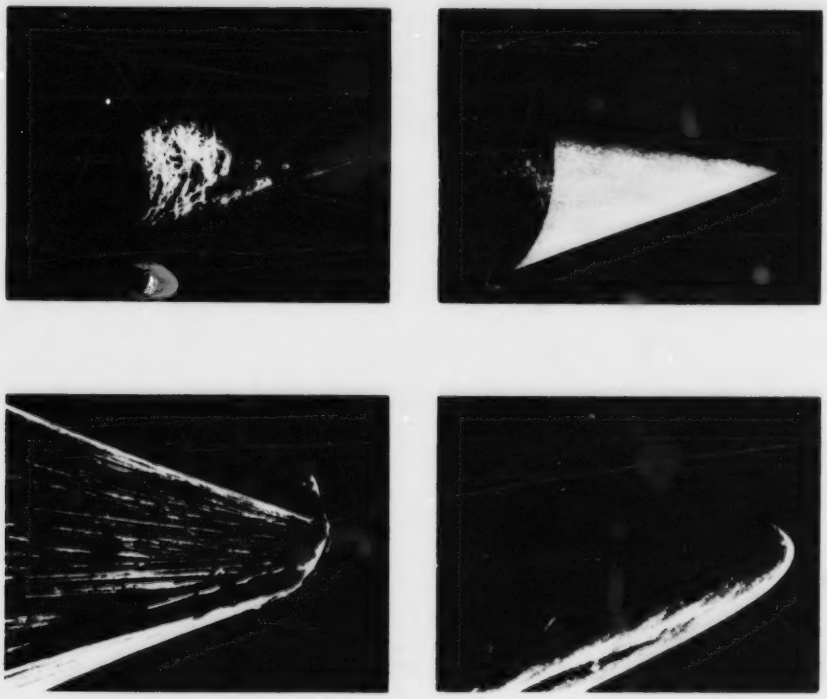


Figure 2 Photomicrographies d'une pointe d'aiguille avant et après le nettoyage.

■ Brouillage et compatibilité électromagnétiques

■ A.S. Podgorski – S. Kashyap – M. Kekez

Mesures des impulsions électromagnétiques

Au cours de l'année, le groupe a apporté des améliorations considérables au développement de circuits de mesure d'impulsions électromagnétiques. Le temps de réponse des circuits de mesure coaxiaux a été ramené de 500 ps à 150 ps et devrait pouvoir être réduit à 75 ps au cours des deux prochaines années.

De plus, le groupe a développé deux circuits de mesure à fibres optiques. Le temps de réponse des circuits de mesure à fibres optiques est de 3 ns et de 500 ps respectivement. On s'attend à pouvoir réduire le temps de réponse à 150 ps. Au cours de l'année passée, le groupe a achevé le développement d'un circuit à réponse en nanosecondes pour la mesure du couplage de l'énergie des impulsions électromagnétiques dans les câbles de télécommunications. Le développement d'une installation d'étalonnage dans le domaine fréquence et le domaine temporel, de courant direct à 2 GHz, est en phase finale. Le groupe a également mis en route le développement d'une installation de mesure dans le domaine fréquence pour l'évaluation des réponses transitoires dans le domaine temporel de modèles à l'échelle.

Simulation d'impulsions électromagnétiques

L'objectif général est de développer une installation que peuvent utiliser les entreprises canadiennes pour vérifier la protection contre le brouillage électromagnétique ainsi que la compatibilité électromagnétique tout en mettant l'accent sur les capacités de protection contre les transitoires. L'année passée, le groupe a commencé les travaux de développement d'une installation capable de produire des champs électromagnétiques de grande intensité pour simuler les impulsions électromagnétiques de foudre et d'origine nucléaire.

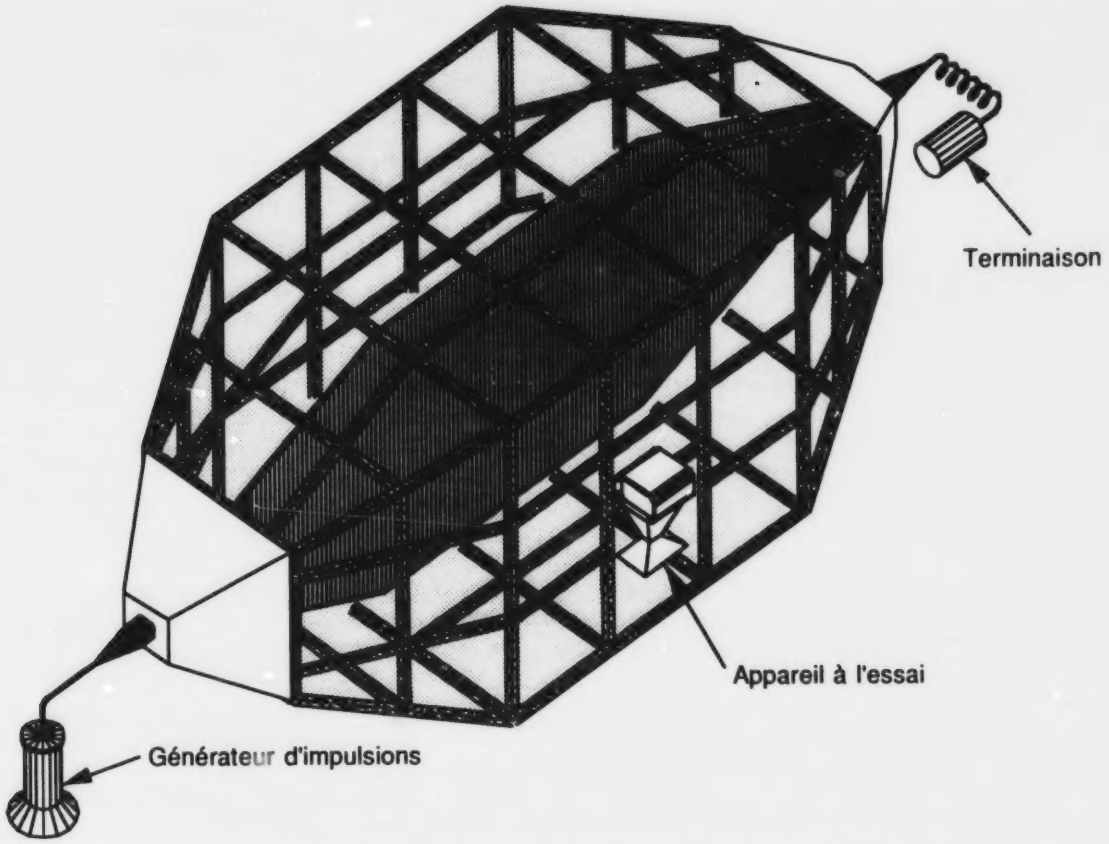


Figure 3 Simulateur d'impulsions électromagnétiques d'origine nucléaire.

Le CNRC a développé un petit (1,3 m) simulateur d'impulsions électromagnétiques de niveau dangereux (100 kV/m) (voir la figure 3). La vérification de la conception a été effectuée avec succès sur des générateurs d'impulsions 300 et 600 kV de durée inférieure à une nanoseconde.

MÉMOIRES RÉCENTS — SECTION D'ÉNERGIE

Publiés

- ☐ Alexander, P.E., Bulinski, A., Claussen, T.L., Dakin, T.W., Fort, E.M., Fothergill, J.C., Galpern, H.N., Lawless, J.F., Nelson, W., Stone, G.C., Vincent, G.A., Ward, B.E., et Wilkens, W.D. IEEE Guide for the Statistical Analysis of Electrical Insulation Voltage Endurance Tests. American National Standards Institute/IEEE Standards 930-1987. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York (NY). 1987.
- ☐ Arseneau, R., et Zelle, J. A parts per million accuracy instrument for ac voltage measurements. IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-36(2): 330–333; 1987. CNRC 27707.
- ☐ Bamji, S.S., Bulinski, A.T., et Densley, R.J. The effect of photostabilisers on polymeric insulation used in high voltage cables. Proceedings of the European Symposium on Polymeric Materials, Lyon, France. 14–18 septembre 1987. pp. CB02, 1–5. CNRC 28950.

- ☐ Bamji, S.S., Bulinski, A.T., et Densley, R.J. The role of N_2 impregnation and ultraviolet stabilisers in polymeric insulated high voltage cables. Proceedings of the Second International Conference on Polymer Insulated Power Cables, Versailles, France. 21–25 septembre 1987. pp. 214–217. CNRC 28952.
- ☐ Bamji, S.S., Bulinski, A.T., et Densley, J.R. The effect of sample preparation on electrical tree resistance tests. Proceedings of the 1987 Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Gaithersburg (MD). 18–22 octobre 1987. pp. 425–431. CNRC 28953.
- ☐ Bulinski, A.T., Bamji, S.S., Densley, J.R., et Au, C. Effect of temperature on the growth of vented water trees in laboratory molded polyethylene specimens. Proceedings of the 1987 Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Gaithersburg (MD). 18–22 octobre 1987. pp. 440–447. CNRC 28954.
- ☐ Filipski, P. System for testing wattmeters under nonsinusoidal conditions. IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-36(2): 347–353; 1987. CNRC 28533.
- ☐ Filipski, P. Errors of a time-division active power converter with a natural sampling pulse-width modulator. IEEE Trans. Power Delivery, PWRD-2(4): 1025–1029; 1987. CNRC 26984.
- ☐ Filipski, P., et Arseneau, R. Discussion on "Sensitivity of electrical appliances to harmonics and fractional harmonics of the power system's voltage. Part II: Watthour meters and universal machines" by E.F. Fuchs, D.J. Roesler, and K.P. Kovacs. IEEE Trans. Power Delivery, PWRD-2(2): 452; 1987. CNRC 28098.
- ☐ Garton, A., Bamji, S.S., Bulinski, A., et Densley, J. Oxidation and water tree formation in service aged XLPE cable insulation. IEEE Trans. Elect. Insul. EI-22(4): 405–412; 1987. CNRC 27450.
- ☐ Kuffel, J., McComb, T.R., et Malewski, R. Comparative evaluation of computer methods for calculating the best fit sinusoidal to the digital record of a high purity sine wave. IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-36(2): 418–422; 1987. CNRC 27449.
- ☐ McComb, T.R., Malewski, R., et Kuffel, J. Measuring characteristics of the fastest commercially-available digitizers. IEEE Trans. Power Delivery, PWRD-2(3): 661–670; 1987. CNRC 26733.
- ☐ McComb, T.R., Kuffel, J., Malewski, R., et Sihon, K. Qualifying an impulse digitizer for measurements in HV impulse tests. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, New York (NY). Mémoire nº 88WM038-2, 31 janvier – 5 février 1988. CNRC 28973.
- ☐ Moore, W.J.M., et Miljanic, P.N. The current comparator. IEEE Electrical Measurement Series 4, Peter Peregrinus Ltd., Londres, R.-U. 1988. 120 pages.
- ☐ Podgorski, A.S. A case for a uniform lightning threat. Proceedings of International Aerospace and Ground Conference on Lightning and Static Electricity, Oklahoma City (OK). 19–22 avril 1988. pp. 118–122. CNRC 28981.
- ☐ Podgorski, A.S., et Landt, J.A. Three dimensional time domain modelling of lightning. IEEE Trans. Power Delivery, PWRD-2(3): 931–938; 1987. CNRC 28975.
- ☐ Podgorski, A.S., et Podgorski, E.M. Lightning standards for protection of ground electronic systems. Proceedings of International Aerospace and Ground Conference on Lightning and Static Electricity, Oklahoma City (OK). 19–22 avril 1988. pp. 324–327. CNRC 28982.
- ☐ So, E. A microprocessor-controlled current-comparator-based dc voltage calibrator. IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-36 (2): 291–295; 1987. CNRC 27705.
- ☐ So, E. A current-comparator-based load loss standard for in-situ calibration of transformer loss measuring systems. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, San Francisco (CA). 12–17 juillet 1987. Mémoire nº 87SM51-2. CNRC 28968.
- ☐ So, E. A current-comparator-based wattmeter for high-voltage power measurements at very low power factors. IEEE Trans Power Delivery, PRWD-2(4): 1018–1024; 1987. CNRC 28967. (Résumé dans IEEE Power Eng. Rev. PER-7(10): 37–38; 1987. CNRC 28968.)
- ☐ So, E., et Train, D. In-situ calibration of three different types of transformer loss measuring systems using a current-comparator-based load loss standard. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, New York (NY). 31 janvier – 5 février 1988. Mémoire nº 38WM040-8. CNRC 28969.

Présentés

- ARSENEAU, R., ET FILIPSKI, P.S. Effects of harmonics on energy and VA demand measurements. Municipal Electric Association, Metering Section Annual Spring Conference, Ottawa (Ont.). 3 juin 1987.
- ARSENEAU, R., ET FILIPSKI, P.S. Application of a three phase nonsinusoidal calibration system for testing energy and demand meters under simulated field conditions. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, San Francisco (CA). 12–17 juillet 1987.
- ARSENEAU, R., ET FILIPSKI, P.S. Optimum metering systems for loads with high harmonic distortion. Association canadienne de l'électricité, Edmonton (Alb.). Octobre 1987.
- BAMJI, S., BULINSKI, A., AND DENSLEY, J. A new mechanism of degradation in polymeric insulation subjected to high voltage. Corona Research Group (Cage Club), Université Carleton, Ottawa (Ont.). 11–12 mai 1987.
- BAMJI, S., BULINSKI, A., ET DENSLEY, J. Effect of temperature on water tree growth. Corona Research Group (Cage Club), Université Carleton, Ottawa (Ont.). 11–12 mai 1987.
- DENSLEY, J.R. Water treeing in polymeric cable insulation. CIL Inc., Brampton (Ont.). 27 mai 1987.
- DENSLEY, J.R. Accelerated aging of polymeric-insulated distribution cables. WG12-35 of IEEE ICC Meeting, St. Petersburg (FL). 9 novembre 1987.
- DENSLEY, J.R. Cable research activities of the CEA. Subcommittee No. 13 of IEEE ICC Meeting, St. Petersburg (FL). 10 novembre 1987.
- DENSLEY, J.R. The deterioration of polymeric insulation by electric stress and moisture. CIL Inc., Brampton (Ont.). 24 novembre 1987.
- FILIPSKI, P.S. Accuracy of three phase energy and VA demand meters under distorted waveform conditions. Association canadienne de l'électricité, St. John (N.-B.). Septembre 1987.
- FILIPSKI, P.S. Analogue and digital wattmeters and watthour meters. Table ronde, «Effects of Voltage and Current Distortion on the Performance of Metering Instrumentation in Power Systems,» IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, New York, (NY). 31 janvier – 5 février 1988.
- HUGHES, R.C., MCCOMB, T.R., ET SCHON, K. Intercomparison of impulse measuring systems at NRC, PTB and CERL. CIGRE WG 33.03, Beijing, Chine. Octobre 1987.
- MCCOMB, T.R. Application of digitizers to monitoring high voltage impulse tests. CIGRE Seminar on High Voltage Test and Measuring Techniques, Beijing, Chine. Octobre 1987. (Invité.)
- MCCOMB, T.R. Comparative measurements based on NRC's resistor dividers. CIGRE WG 33.03, Beijing, Chine. Octobre 1987.
- MCCOMB, T.R. Report of the task force on response parameters. CIGRE WG 33.03, Beijing, Chine. Octobre 1987.
- MCCOMB, T.R., ET KUFFEL, J. Measurement of fast linearly-rising impulses. CIGRE WG 33.03, Beijing, Chine. Octobre 1987.
- MCCOMB, T.R., ET KUFFEL, J. Puncture tests of insulators. CIGRE WG 33.03, Beijing, Chine. Octobre 1987.
- MCCOMB, T.R. Methods of evaluating the accuracy of measuring systems for fast transient voltages. CIGRE SC 33 Colloquim, Tokyo, Japon. Octobre 1987.
- MCCOMB, T.R., ET MALEWSKI, R. Technical basis of the IEC/IEEE standard on digital recorders for measurements in HV impulse tests. Corona Research Group (Cage Club), Université Carleton, Ottawa (Ont.). 11–12 mai 1987.
- MCCOMB, T.R., KUFFEL, J., MALEWSKI, R., ET SCHON, K. Qualifying an impulse digitizer for measurements in HV impulse tests. CIGRE WG 33.03, Beijing, Chine. Octobre 1987.
- MILJANIC, P.M., MOORE, W.J.M., ET SO, E. State-of-the-art technology of ac power and energy measurements. Federal Institute of Weight and Measures, Belgrade, Yougoslavie. 9 juin 1987. (Invité.)
- SO, E. A current-comparator-based 25-bit multiplying digital-to-analog converter. Proceedings of the IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC 87), 27–29 avril 1987. p. 282. CNRC 28966. (Résumé.)

- So, E. High voltage power measurements at very low power factors. HOLEC HH, Hengelo, Pays-Bas. 17 juin 1987.

Brevet

- So, E., et Moore, W.J.M. Digital-to-analog converter. Brevet É.-U. 4,638,302. 20 janvier 1987.

MÉMOIRES RÉCENTS — SECTION DE GÉNIE ÉLECTROMAGNÉTIQUE

Publiés

- Antar, Y.M.M., et Allan, L.E. Polarization characteristics of backscatter from finite dielectric cylinders in the resonance region. Proceedings of IEEE Antennas and Propagation Society 1987 Meeting, Blacksburg (VA). 15–19 juin 1987. Vol. II, pp. 968 971. CNRC 27968.
- Antar, Y.M.M., et Hendry, A. Correlation techniques in two-channel linearly polarized radar systems. Electromagnetics, 7(1): 17–27; 1987. CNRC 27436.
- Antar, Y.M.M., Allan, L.E., et Holt, A.R. Backscattering matrix of dielectric objects at 9.6 GHz. Electron. Lett. 23(19): 996–997; 1987. CNRC 28316.
- Antar, Y.M.M., Allan, L.E., et Mishra, S.R. Radar cross-section and scattering matrix measurements on microwave navigation targets. Proceedings of the Meeting of Antenna Measurement Techniques Association, AMTA '87, Seattle (WA). 28 septembre – 2 octobre 1987. pp. 147–150. CNRC 28096.
- Ayer, J. Measurement of dielectric constant at rf and microwave frequencies. RF Design, 10(4): 44–47; 1987. CNRC 29177.
- Karam, M.A., Fung, A.K., et Antar, Y.M.M. Scattering models for some vegetation samples. Proceedings of the IGARSS '87 Symposium, Ann Arbor (MI). 18–19 mai 1987. CNRC 27970.
- Kashyap, S. Radiation pattern distortions in an absorbed-lined chamber. Proceedings of the 1987 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Atlanta (GA). 25–27 août 1987. pp. 62–66.
- Kashyap, S., et Mishra, S.R. Antenna factor measurement. Proceedings of the International Conference on EM Interference and Compatibility, INCEMIC, Bangalore, Inde. 10–11 septembre 1987. pp. 89–93. CNRC 29178.
- Kishk, A.A., Antar, Y.M.M., Shafai, L., et Allan, L.E. Comparison between experimental and numerical results of electromagnetic scattering from lossy dielectric objects. Proceedings of IEEE Antennas and Propagation Society 1987 Meeting, Blacksburg (VA). 15–19 juin 1987. Vol. II, pp. 1122–1125. CNRC 27969.
- Mishra, S.R., et Kashyap, S.C. A multipurpose EM field measurement and antenna calibration facility. IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-36A: 1010–1014; 1987.
- Mishra, S.R., et Kashyap, S.C. Measurement of E.M. field distribution in an absorber lined chamber. Proceedings of the 7th International Zurich Symposium on EMC, Zurich, Suisse. 3–5 mars 1987. pp. 115–120. CNRC 29179.
- Mishra, S.R., et Kashyap, S.C. A multipurpose EM field measurement and antenna calibration facility. Proceedings of the IEEE IMTC Conference, Boston, MA. avril 27–29 1987. pp. 51–54. CNRC 29180.
- Mishra, S.R., et Kashyap, S. Measured field of a biconical antenna in an absorber lined chamber. Proceedings of the International Conference on EM Interference and Compatibility (INCEMIC), Bangalore, Inde. septembre 10–11 1987. pp. 83–87. CNRC 29181.
- Mishra, S.R., et Pavlasek, T.J.F. Morphology of E.M. field scattered by absorber material and walls of absorber lined chambers. IEEE APSoc/AMTA Workshop on Absorber Material and Anechoic Chambers, Blacksburg (VA). Juin 1987. Sous presse. CNRC 29182.
- Pavlasek, T.J.F., et Mishra, S.R. Ground plane influence on EMC measurements. Proceedings of the International Zurich Symposium on EMC, Zurich, Suisse. 3–5 mars 1987. pp. 353–358. CNRC 29183.

☐ WYSLOUZIL, W., KASHYAP, S., ET DAIEN, D.M. Heating patterns for an array of 915 MHz rectangular waveguide applicators. J. Microwave Power Electromagn. Eng. 22(4): 213–220; 1987.

Présenté

☐ ANTAR, Y.M.M. Radio wave propagation characteristics in precipitation as determined by radar. 1987 URSI Radio Science Meeting, Blacksburg (VA). 15–19 juin 1987.

Brevet

☐ WYSLOUZIL, W., ET KASHYAP, S.C. Apparatus for heating granular materials. Brevet Can. 1,234,877. 5 avril 1988.

LABORATOIRE DES SYSTÈMES INTELLIGENTS

Chef de laboratoire — M.M.C. Collins

■ Objectif

- Développer, par l'entremise de travaux de recherche appliquée et de la collaboration avec l'industrie et les universités canadiennes, la technologie des systèmes intelligents qui permettra d'améliorer la position concurrentielle de l'industrie canadienne dans les nouveaux secteurs de la robotique fondée sur capteurs et des systèmes à base de connaissances.

Sous-objectifs

- Développer les technologies informatiques et liées aux capteurs qui constitueront une base pour la réalisation de systèmes autonomes et faire la démonstration de ces technologies.
- Acquérir et développer des technologies fondées sur l'ordinateur pour la création de systèmes informatiques perfectionnés qui permettront la représentation, l'acquisition et le traitement des connaissances.
- Encourager l'exploitation industrielle des technologies informatiques de pointe en créant, en favorisant et en faisant valoir les occasions d'appliquer ces technologies.

■ Description du programme

Les technologies de pointe en automatisation nécessitent des appareils qui peuvent adapter leur comportement à un environnement variable et à des tâches aux demandes changeantes. Les progrès techniques s'organisent autour de trois aspects majeurs, la perception (les capteurs), la décision et la commande, auxquels le Laboratoire consacre des travaux de recherche importants. Ces composantes technologiques seront intégrées à des systèmes intelligents opérationnels grâce aux techniques de l'intelligence artificielle appliquée.

La Section de recherches en informatique constitue la principale instance de responsabilité des travaux en intelligence artificielle appliquée. Ces travaux sont encore aux premiers stades du développement et on s'applique surtout au recrutement et à la formation du personnel, ainsi qu'à la création d'une infrastructure qui permettra d'effectuer des travaux de recherche appliquée dans le domaine des systèmes à base de connaissances. À l'heure actuelle, la Section collabore avec l'industrie, avec les universités et avec d'autres organismes gouvernementaux sur quatre projets orientés vers les applications. L'une des réalisations projetées, le Conseiller intelligent, donnera à l'utilisateur des conseils spécifiquement adaptés à ses buts immédiats dans le cadre d'un environnement informatique interactif. Le projet d'apprentissage par la découverte en médecine résultera en un système d'automatisation de l'apprentissage par la découverte à partir de grosses bases de données médicales, tandis que le projet du système expert d'analyse des risques porte sur la conception d'une coquille de système expert spécialisé pour les applications en analyse des risques posés par les appareils médicaux. Le projet du système expert de diagnostic applique la technologie des systèmes experts au contrôle de l'état des moteurs.

La Section photonique et capteurs travaille au développement de capteurs et a concentré ses efforts sur les méthodes opto-électroniques de mesures tridimensionnelles. L'une des méthodes se fonde sur la triangulation et exploite la méthode de balayage synchronisé pour améliorer la performance. Ce système a suscité beaucoup d'intérêt dans l'industrie et est commercialisé par deux entreprises canadiennes. On travaille présentement à perfectionner une caméra double objectif dont la fonction de défocalisation donne une mesure de la distance. Des travaux associés en optique intégrée pour le développement de capteurs et le

traitement haute vitesse ont permis de réaliser des dispositifs pour la mesure du champ électrique et la mesure de l'effort mécanique.

La Section d'automatique travaille dans le secteur de la robotique à capteurs. Les méthodes de mesures tridimensionnelles sont en cours d'adaptation et de démonstration en commande robotisée, plus particulièrement dans les recherches sur le recours à une caméra montée sur le poignet. Le système d'exploitation en temps réel Harmony[1] est au coeur des travaux sur le contrôleur robotisé de pointe. Harmony approche de sa maturité et a suscité un grand intérêt parmi les développeurs de systèmes informatiques intégrés pour l'automatisation industrielle. Par suite d'une demande formelle de propositions lancée aux entreprises canadiennes, on a choisi P-Can Research Inc. pour la commercialisation et le soutien de Harmony. On utilise, dans le projet de robotique et dans celui d'une plate-forme mobile autonome pour les applications en soins de santé, des méthodes basées sur les connaissances et la méthodologie de l'intelligence artificielle pour la planification du trajet en vue de l'évitement des collisions et la spécification des tâches évoluées.

La Section de robotique et automatisation de Winnipeg collabore avec des partenaires industriels dans les secteurs de la robotique à capteurs, de la production et de l'inspection assistées par ordinateur et des systèmes à base de connaissances. Au total, quatorze projets sont présentement en cours ou ont fait l'objet d'une entente ferme.

Orientations et priorités futures

- S'imposer à titre de laboratoire national dans le domaine de l'intelligence artificielle appliquée grâce à la réalisation de projets d'une grande difficulté technique.
- Développer un prototype de démonstration du système du Conseiller intelligent.
- Collaborer avec P-Can Research Inc. à la commercialisation du système d'exploitation Harmony.
- Appliquer l'architecture multiprocesseur aux nouveaux développements en commande industrielle en temps réel.
- Faire la démonstration des principes de vision tridimensionnelle pour la commande robotisée dans le cadre d'applications industrielles et du programme de la station spatiale.
- Poursuivre le développement des méthodes de mesures tridimensionnelles et des algorithmes d'interprétation des images tridimensionnelles.
- Effectuer des travaux exploratoires sur les matériaux non linéaires destinés aux systèmes optiques intégrés, au traitement optique et aux capteurs optiques.
- Développer une plate-forme mobile intelligente pour les applications en soins de santé.
- Poursuivre le développement de projets conjoints CNRC–industrie à l'ICTI de Winnipeg.

Clients et collaborateurs

Le principal objectif du Laboratoire consiste à développer des technologies qui ont une avance d'une génération sur les technologies actuelles. L'apport de la clientèle externe est essentiel au développement d'un consensus sur les opportunités et exigences futures sur les technologies, et les axes de recherche sont en général guidés par des besoins stratégiques et génériques, non spécifiques. On a adopté comme priorités des exigences de développement technologique dégagées par un comité du projet canadien de la station spatiale. Les succès des activités du Laboratoire furent démontrés par l'intérêt et les collaborations avec les industries canadiennes, les autres institutions governementales et les universités.

L'exploitation par l'industrie canadienne des technologies en robotique de pointe, en automatisation et en intelligence artificielle s'effectue en collaboration avec toutes les sections du Laboratoire, mais c'est la Section de robotique et automatisation de Winnipeg en fait son cheval de bataille.

[1]Marque déposée, réservée à l'usage exclusif de Sa Majesté du Chef du Canada par la Société canadienne des brevets et d'exploitation Ltée.

Événements importants

- Sélection de P-Can Research Inc. pour commercialiser les services de distribution, de maintenance et de soutien du système d'exploitation en temps réel Harmony.
- Développement d'un détecteur du champ électrique de première génération pour la détection de la foudre à bord des aéronefs dans le cadre du programme de coopération technique avec la compagnie Marconi Canada.
- Signature d'ententes formelles avec l'Université d'Ottawa en vue du développement de composants pour le détecteur du champ électrique, avec Macdonald Dettwiler and Associates Ltd. et l'Université Simon Fraser en vue du développement d'un laser bleu solide à doublage de fréquence, avec l'Université McGill en vue de l'amélioration du scanner de profil pour la vision robotisée, et avec l'Université Laval en vue de travaux en collaboration sur l'intelligence artificielle.
- Mise sur pied de 14 programmes conjoints CNRC–industrie à l'ICTI de Winnipeg.
- Le lancement d'un projet conjoint avec le Laboratoire de génie biomédical en vue du développement d'un robot autonome pour les applications en soins de santé et en soins à domicile.
- Conclusion d'un accord avec Price Waterhouse visant la collaboration dans le développement du système du Conseiller intelligent.
- Conclusion d'une entente avec Spar Aérospatiale Ltée en vue du développement d'applications d'une caméra de distance pour vision robotisée dans l'environnement de la station spatiale.
- Démonstration d'un scanner laser tridimensionnel haute précision à profondeur de champ réglable.
- Sortie en janvier 1988 de la version 3.0 de Harmony.
- Fabrication du prototype d'un scanner laser tridimensionnel très rapide pour l'inspection de cartes de circuits imprimés.
- Utilisation dans le cadre de cours donnés dans trois universités canadiennes du rapport *M* — A Methodology for Information Systems Analysis and Database Design in Production Environments.*
- Démonstration d'une fonction d'intégration de texture tridimensionnelle pour les images de distance.
- Fin de la conversion de Harmony au système cible VME/68020 et à un environnement de soutien du développement fondé sur le Macintosh.
- Reconnaissance par ses confrères à l'externe : S. El-Hakim a gagné le V Talbert Abrams Grand Award pour deux publications dans la revue *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.*

SECTION D'AUTOMATIQUE

Chef de section — N. Burtnyk

■ Introduction

Les activités de recherche de la Section d'automatique sont axées sur notre objectif à long terme, c'est-à-dire le développement de systèmes autonomes de pointe. Nos travaux s'effectuent dans trois secteurs complémentaires : les architectures de multiprocesseurs pour les calculs en temps réel, la robotique à capteurs et la vision par ordinateur. Pour mieux comprendre les progrès des recherches décrites ci-après, le lecteur est prié de consulter le précédent *Bulletin de la Division de génie électrique* (vol. 3, nº 1).

Les travaux sur les architectures de multiprocesseurs en temps réel portent surtout sur le développement et sur les applications du système d'exploitation Harmony. Récemment, on a entrepris des travaux importants sur l'incorporation à la version 3.0 de toutes les améliorations majeures.

Les travaux en laboratoire sur le matériel robotisé utilisent l'architecture du multiprocesseur Harmony de manière à former un environnement automatisé perfectionné pour la commande des systèmes intelligents. Le développement de la fonction sensorielle porte surtout sur un scanner de profil monté sur le poignet pour la vision robotisée. Ce projet comprend aussi des composantes de modélisation spatiale, de planification du trajet et de spécification des tâches de haut niveau.

Les travaux en vision par ordinateur portent surtout sur les techniques de traitement pour l'interprétation d'images de données de distance destinées à la reconnaissance d'objets tridimensionnels.

■ Architectures de multiprocesseurs pour la commande en temps réel

■ W.M. GENTLEMAN – D.A. GREEN – S.A. MCKAY – R.K. PARR – D.A. STEWART – M. WEIN

Le système d'exploitation Harmony

On a poursuivi les travaux sur Harmony, un système d'exploitation multiprocesseur multitâche adaptable pour les opérations en temps réel. La présente section résume les travaux visant l'amélioration de Harmony. Les applications fondées sur Harmony sont décrites individuellement dans le présent *Bulletin*. Il est à noter que Harmony est à la base de plusieurs projets en cours à l'Université de Waterloo et à l'Université Carleton, et qu'il a été distribué à plus d'une douzaine d'utilisateurs industriels qui en évaluent le potentiel en vue de nouveaux produits ainsi qu'à un nombre égal de laboratoires universitaires qui l'utiliseront dans un environnement de recherche. Il existe déjà sur le marché plusieurs produits industriels brevetés qui incorporent Harmony; par ailleurs, on a récemment amorcé la commercialisation complète de Harmony, ce qui comprend la distribution, la maintenance, les services de soutien et la poursuite du développement. On peut se procurer auprès des auteurs un manuel décrivant le système d'exploitation Harmony.

Environnement de développement

L'environnement de développement pour Harmony, développé à l'origine sur un mini-ordinateur VAX exploité en simultanéité, a été adapté à un réseau de postes de travail individuels, afin d'améliorer le lien entre les systèmes de développement et le système cible. De plus, il semblait intéressant d'acquérir une expérience substantielle par le recours à un réseau de postes de travail vraiment individuels, tant pour le développement de Harmony que pour son application et le soutien général de la productivité. Nous voulions aussi utiliser des logiciels commerciaux peu coûteux provenant de nombreux fournisseurs, de manière que chaque poste de travail dispose de nombreux outils (compilateurs, éditeurs, logiciels de traitement de texte, outils de dessin et d'illustration) économiques et adaptés aux besoins de chaque utilisateur.

L'environnement de développement choisi est un réseau d'ordinateurs Macintosh (une combinaison des modèles Plus, SE et II). On avait choisi ce système de développement en raison de sa richesse et de son interface visuelle intéressante, un choix confirmé par notre expérience. Deux membres de l'équipe de développement on amélioré leurs postes de travail par l'ajout d'écrans pleine page, ce que montre la figure 1. On utilise typiquement le grand écran pour les fenêtres de l'éditeur de documents et le petit écran pour les fenêtres de gestion.

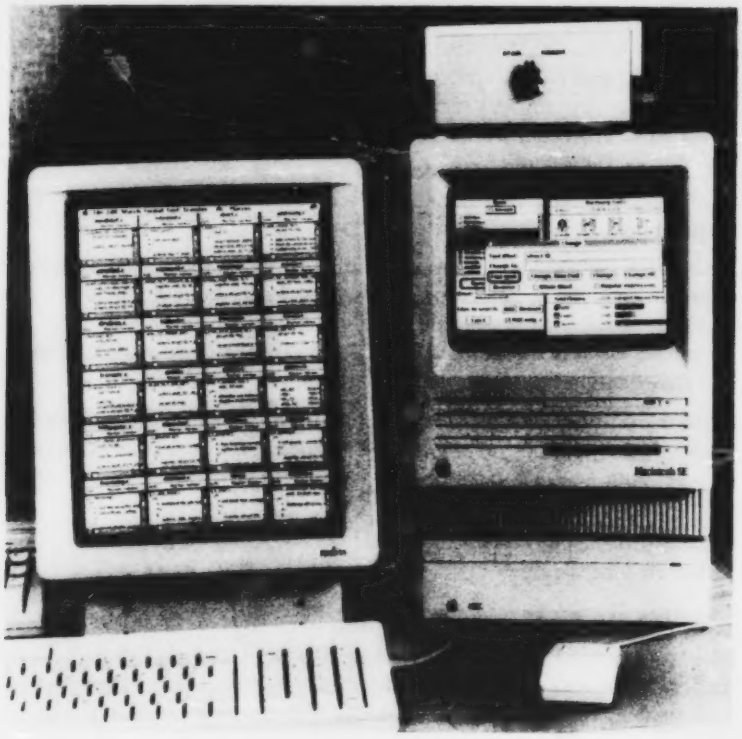


Figure 1 Affichage pleine page montrant 24 fichiers ouverts; les fenêtres de commande sont sur le petit écran.

Les principales composantes logicielles commerciales de chaque machine de développement sont le compilateur Consulair MacC$^{\Phi}$, l'éditeur de programmes QUED/M(Macro)$^{\Phi}$, le système de fichiers répartis pour réseaux MacServe$^{\Phi}$, le programme de terminal visuel inTalk$^{\Phi}$ et une série de progiciels d'usage général. On utilise un autre logiciel breveté, l'émulateur de terminal multifenêtre UW$^{\Phi}$, distribué gratuitement par son auteur, John Brunner du Lawrence Livermore National Laboratory.

Certains progrès ont découlé des travaux de développement et de conversion des outils Harmony à l'environnement Macintosh. On a écrit un nouvel utilitaire, Fixaddr, pour convertir les images binaires des programmes exécutables depuis le format Macintosh au format Unix, plus répandu et utilisé par d'autres outils — Bound, Examine et Makemsr. Le système d'exécution du Macintosh utilise un code indépendant de la position, segmenté en blocs d'au plus 32 K-o. Ce format est produit par tous les éditeurs de liens du Macintosh. Fixaddr traduit l'image en un format non segmenté plus conventionnel.

Les autres outils — Bound, Examine et Makemsr — ont aussi été modifiés de manière à tourner sur le

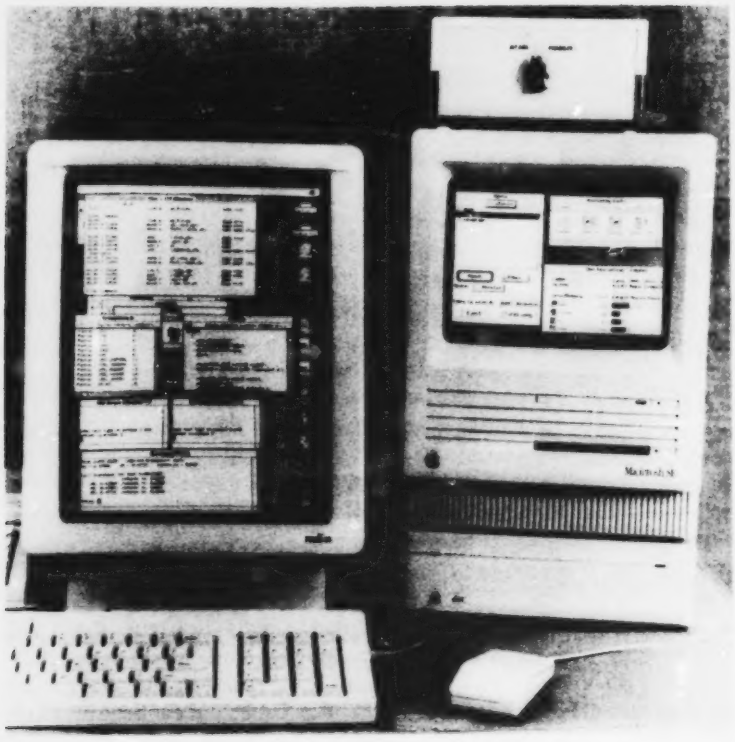


Figure 2 Combinaison d'outils de correction des erreurs. La fenêtre «Examine» se trouve au sommet de l'écran, les deux fenêtres du texte source sont en-dessous, et l'émulateur de terminal multifenêtre est en bas.

Macintosh. La figure 2 montre une combinaison des outils de correction, d'Examine, de l'éditeur et de l'exécution de contrôle du terminal virtuel sur le système d'exécution.

Conversion de Harmony

Harmony a été adapté aux processeurs VMEbus basés sur les processeurs Motorola MC68020. Il est à noter que les cartes de processeurs DVME-134 des DY-4 Systems Inc. sont déjà utilisées dans des applications existantes. Cette version de Harmony est intégrée à l'arbre de source Harmony et est distincte de la version DY-4 de la même carte. On a dû produire des ROM d'amorçage spécialement adaptées aux processeurs de manière à permettre le lancement synchronisé des processeurs multiples qui pilotent Harmony. La nouvelle ROM d'armorçage peut accepter le téléchargement aval via le protocole XMODEM ainsi que les articles «S» Motorola conventionnels. Le recours à XMODEM écourte de jusqu'à 50 % le cycle de développement (compilation/liaisons/conversion/téléchargement aval sur une ligne série). En plus d'accélérer le téléchargement, cette méthode élimine aussi l'étape de conversion en articles «S».

Harmony a été converti au micro-ordinateur Atari ST (comme cible monoprocesseur). L'objectif était l'implantation d'un système peu coûteux et facilement accessible pour l'étude et l'évaluation de Harmony, ainsi que la correction des erreurs lorsqu'un système monoprocesseur suffit. Dans un système d'évaluation réaliste, le système de développement et le système cible doivent être distincts. Dans notre cas, il s'agit d'un ordinateur central de développement Macintosh (avec compilateurs, éditeurs de liens et outils fondés sur le Mac) et d'un Atari 520ST comme cible d'exécution (figure 3). La principale caractéristique propre à

Figure 3 À droite, le système de développement et à gauche, le système d'exécution cible peu coûteux (Atari 520ST).

l'Atari est qu'il s'agit d'un système peu coûteux et d'obtention facile, qui contient un processeur Motorola MC68000.

Nouveaux processeurs cibles VME

Au cours des dernières années, nous avons poursuivi notre effort pour imposer le système d'exploitation Harmony par l'identification d'autres cartes de processeurs commerciaux qui soient directement compatibles avec Harmony. On s'intéresse tout particulièrement aux cartes de Io Incorporated, que nous avons évaluées récemment, ainsi qu'à l'annonce par FORCE Computers d'une puce d'interface VME réalisée sur mesure, qui semble offrir exactement les fonctions exigées par Harmony, que la plupart des fabricants ont été incapables d'assurer jusqu'à présent.

Émulateur multipériphérique

Nous avons parlé l'an dernier des travaux sur l'émulateur multipériphérique destiné à l'implantation de pupitres d'opérateur industriel. Au cours de l'année couverte par le présent rapport, nous avons évalué le logiciel et avons défini les caractéristiques d'une version améliorée. L'une des modifications consiste en la redéfinition du protocole qui relie Harmony et le programme de l'EMP. La version améliorée est en cours d'implantation par Microstar Software Ltd. dans le cadre d'un contrat passé avec le Laboratoire.

Améliorations de Harmony

On compte parmi les récentes améliorations apportées à Harmony :

- Réécriture du serveur de communications TCP/IP de manière à permettre la coexistence des protocoles TCP/IP et MAP sur une carte Ethernet. Cette étape est essentielle à l'implantation éventuelle du protocole MAP.
- Écriture d'un serveur adapté à l'émulateur de terminal multifenêtre UW. Les tâches Harmony peuvent établir des connexions entre les fenêtres sur l'écran du Macintosh. Chaque fenêtre correspond à un

terminal ASCII standard. Le logiciel de terminal multifenêtre accroît la souplesse de correction des erreurs dans les applications, sans le recours à des terminaux distincts.

- Réécriture du logiciel de commande série de manière à fonctionner comme un automate à nombre fini d'états, dont la tâche spécifique est la réponse aux caractères de commande du débit XON/XOFF dans l'intervalle d'un caractère, à des vitesses pouvant atteindre 19 200 baud. La nouvelle version satisfait à cet objectif.
- Par suite de l'expérience acquise lors de l'adaptation aux nouveaux environnements cibles et de développement, l'arbre de source Harmony (système, exemples et outils) est en cours de restructuration, afin d'en simplifier la structure, de réduire le dédoublement du code et d'améliorer sa facilité d'adaptation. On apporte aussi des modifications mineures au code d'Harmony pour améliorer la facilité d'adaptation.

■ Robotique à capteurs

Commande de robots

Contrôleur de robots fondé sur Harmony ■ S. ELGAZZAR – D.A. GREEN – D.H. O'HARA

Nous avons conçu un nouveau contrôleur pour le PUMA 560 (MARK 1); son implantation est presque terminée. On compte parmi les exigences fonctionnelles : la facilité d'intégration du capteur, la réponse en temps réel, la facilité d'adaptation à divers manipulateurs et la facilité d'introduction de nouvelles fonctions ou de multiples manipulateurs. On satisfait à ces exigences par le recours au système d'exploitation Harmony et à du matériel multiprocesseur. L'utilisation du traitement concomitant a permis d'améliorer substantiellement la performance. Le logiciel a été écrit en langage C et est modulaire, ce qui assure la facilité de remplacement des modules liés au robot.

Les modules sont organisés en l'architecture hiérarchique que l'on voit sur la figure 4. Le plus bas niveau est celui de l'interface entre le bras et le niveau de la servocommande. La fonctionnalité de ce niveau comprend les fonctions d'initialisation des gains de servoboucle, les transformations du codeur angulaire, l'accès d'écriture/lecture aux articulations individuelles ou à l'ensemble des six articulations, l'interrogation de l'état du bras et les vérifications de limite de sécurité.

Le niveau intermédiaire est celui du générateur de point fixe. On trouve à ce niveau la cinématique du robot, le mouvement par interpolation d'articulations entre deux positions de l'espace cartésien ou espace des articulations, le mouvement rectiligne entre deux points de l'espace cartésien et le mode de trajet continu qui assure la souplesse de transition entre deux segments adjacents du mouvement.

Le niveau de planification du trajet est le plus haut niveau implanté dans le contrôleur. Il comporte deux modes, le mode manuel et le mode ordinateur. Le mode manuel est interactif et constitue une émulation au clavier de la composante apprentissage. Dans ce mode, on peut étalonner le bras, modifier la vitesse de déplacement, déplacer des articulations individuelles, créer/modifier/effacer des emplacements et des répertoires et se déplacer entre deux emplacements.

En mode ordinateur, il est possible d'exécuter les «programmes utilisateur». Un programme utilisateur est formé des définitions d'emplacements et de transformations, et de la spécification des mouvements nécessaires à l'accomplissement de la tâche par le robot, implantée sous forme d'appels de fonctions. La plupart des fonctions nécessaires à ce niveau et aux niveaux intermédiaires sont assurées par un progiciel de recherche appelé RCCL («Robot Control C Library»). RCCL assure l'interaction sensorielle par divers types de transformations.

Au cours des travaux de développement, on a remis à niveau le matériel cible et l'environnement de développement du logiciel. L'évolution rapide des microprocesseurs et des bus de système, ainsi que l'amélioration résultante de la performance, nous ont incité à transférer au cours de l'année dernière le contrôleur robotisé à du nouveau matériel qui contient les cartes VMEbus et les processeurs MC68020. Le VMEbus

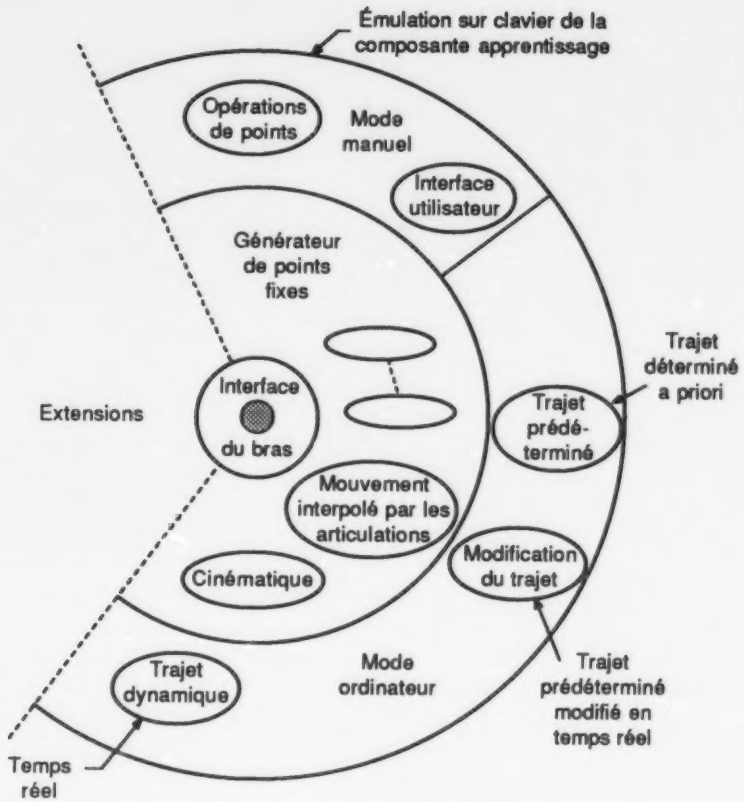


Figure 4 Fonctionnalité du logiciel du contrôleur de robots.

est un produit commercial d'utilisation très courante qui est mieux adapté que les premiers bus aux fonctions de pointe du microprocesseur MC68020. L'interface matérielle avec le robot PUMA a donc été modifiée en vue du VMEbus et la bibliothèque d'interface logicielle a été révisée. De plus, de nombreux problèmes inattendus ont résulté du transfert de l'environnement de développement des applications Harmony aux postes de travail Macintosh, en particulier dans la partie RCCL du contrôleur robotisé; nous avons identifié et résolu ces problèmes.

Contrôleur de robots P-Can ■ D.A. GREEN

Nous avons décrit l'an dernier le début d'un projet en collaboration avec P-Can Research Inc. en vue d'aider au développement d'un contrôleur fondé sur Harmony pour les robots commerciaux. La société en question n'a pu travailler activement à ce projet l'an dernier, mais espère s'y consacrer très bientôt.

Vision robotisée

Scanner de profil monté sur le poignet ■ G. BECHTOLD – S. AMID[1]

On a développé un scanner de profil à deux têtes qui constitue un perfectionnement du système original à une seule tête. Le nouveau scanner comprend deux têtes perpendiculaires, ce qui permet l'obtention d'un diagramme de faisceaux croisés. Les sorties des deux têtes sont multiplexées et traitées dans une série

[1]Travailleur invité.

commune de circuits électroniques semblables à ceux utilisés dans le système à une seule tête. Le développement de cet appareil est terminé et il a fait l'objet de vérifications.

L'installation d'étalonnage mentionnée dans la livraison précédente du *Bulletin* est terminée et a servi à des travaux préliminaires d'étalonnage. Le développement du logiciel d'étalonnage se poursuit.

La liaison de données entre le scanner et le système Harmony a été améliorée par le recours à de nouveaux appareils de commande. Par suite de cette remise à niveau, on a écrit un logiciel révisé et enrichi pour les communications entre Harmony et les installations d'étalonnage ainsi que l'ordinateur d'essai AT.

Des travaux sont en cours, avec la collaboration d'un ingénieur de l'université McGill, en vue du développement d'une version multifaisceau de la caméra qui pourra produire une série de profils de distance parallèles commandés par le logiciel, sans déplacement de la caméra. Une autre amélioration résultant du nouveau concept sera la commande dynamique d'un atténuateur dans le chemin du faisceau lumineux transmis, ce qui aidera à compenser la variation de la lumière réfléchie due aux caractéristiques de surface de la cible, en modifiant la distance jusqu'à la cible, et la chute d'intensité inhérente au concept du scanner aux extrémités du faisceau.

Le concept de base des principaux circuits de commande électronique de ces deux scanners a été stabilisé, de sorte que le circuit est en cours d'intégration à un poste de travail de CAO pour la production d'une carte de circuits imprimés. On remplace présentement, en accord avec le principe de conception, le Multi-Bus de l'ordinateur par un VMEbus de manière à conserver la compatibilité avec les systèmes de traitement multiprocesseur Harmony utilisés dans nos installations de recherche expérimentales.

La collaboration avec Servo-Robot Inc. se poursuit en vue de la commercialisation du principe original.

Saisie de pièces au moyen du scanner de profil ■ G. Roth

Nous avons décrit dans la livraison précédente du *Bulletin* l'utilisation du scanner de profil monté sur le poignet d'un robot pour la saisie de pièces dans une pile (reconnaissance d'objets en vrac). L'environnement informatique de cette expérience comprend une machine LISP ainsi qu'un système Harmony. Bien que le système ait fonctionné correctement, nous avons dû nous en tenir au système Harmony pour la démonstration de performance afin d'établir la preuve de sa valeur concrète.

C'est pourquoi l'algorithme de planification spatiale qui calcule le point de préhension originellement écrit en LISP a été réécrit en C et on a effectué une série de tests de temporisation. La nouvelle version améliore la durée d'exécution de l'algorithme par un ordre de grandeur; le traitement des données de distance peut être réalisé en environ 1 s et les données d'intensité peuvent être traitées en environ 5 s. On peut donc conclure que le seul problème qui reste est la durée de la cueillette des données de distance.

Traitement de profils de distance individuels ■ C. Archibald – C. Merritt – B. Threthewey[1]

L'interprétation d'un profil tridimensionnel individuel capté par la caméra de distance montée sur le poignet permet son utilisation en mode de recherche et dans certaines applications comme, par exemple, la poursuite. L'extraction des données d'un profil individuel doit être rapide pour satisfaire au critère de traitement en temps réel et robuste pour éviter les interprétations erronées. Ce type d'interprétation des données diffère des méthodes plus traditionnelles de traitement des images puisqu'il est nécessaire d'accumuler très rapidement des indices à partir de passages successifs, à l'inverse du long traitement d'une image entière. Plusieurs opérateurs ont été utilisés pour traiter les faisceaux de profil, y compris Sobel, la première dérivée, la dilatation et l'érosion morphologique, et la convolution unidimensionnelle. Les profils sont combinés par addition et soustraction. La référence 1 décrit en détail ce projet.

Un système par réaction optique tridimensionelle en temps réel pour la commande de robots a été implanté au moyen du télémètre avec un système Harmony à trois processeurs, ce qui permet l'étude de la commande par réaction en temps réel d'un robot à six axes et la démonstration de la possibilité de combiner le télémètre et l'architecture appropriée pour la commande des robots intelligentes. À ce jour, on a implanté

[1]Étudiant.

la poursuite avec 2 degrés de liberté et on a conçu des expériences à 3 et 4 degrés de liberté qui seront réalisées en 1988 (2).

Références

1. Archibald, C. Processing single range profiles from a wrist mounted laser range finder. Comptes rendus de la Vision Interface '88, Edmonton (Alberta). 6–10 juin 1988. Sous presse. NRC 28979.
2. Archibald, C., Gentleman, W.M., et O'Hara, D.H. Real time feedback control using a laser range finder and Harmony. Proceedings of 7th Canadain CAD/CAM and Robotics Conference and Exposition, Toronto (Ontario). 14–16 juin 1988. pp. 56–62. NRC 28978.

Détermination de le position-orientation d'un objet au moyen de données de distance partielles

■ C. MERRITT – C. ARCHIBALD – B. THRETHEWEY[1]

On a entrepris à la fin 1987 des expériences en collaboration avec Spar Aérospatiale Ltée, en vue de l'évaluation des possibilités d'application aux travaux de la station spatiale du télémètre monté sur le poignet. Le problème à résoudre consiste à déterminer la position-orientation d'un objet dans l'espace, en fait la pince de préhension du satellite, au moyen du télémètre laser. La figure 5 montre le télémètre laser analysant la pince du satellite. La figure 6 est un modèle produit par CAO qui montre les composantes stucturelles de la pince.

Une stratégie de procédure a été développée en vue de ce projet et nous l'avons partiellement implantée. Il semble que 10 profils de distance sont adéquats pour déterminer la position-orientation de la pince.

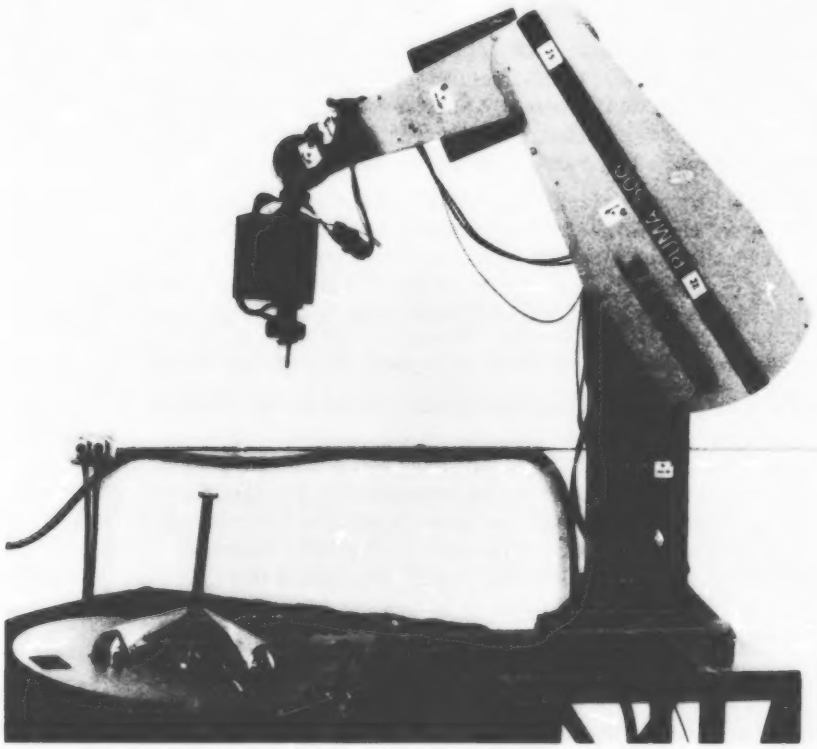


Figure 5 Pince de satellite en cours d'analyse par un télémètre laser.

[1]Étudiant.

Figure 6 Modèle CAO de la pince.

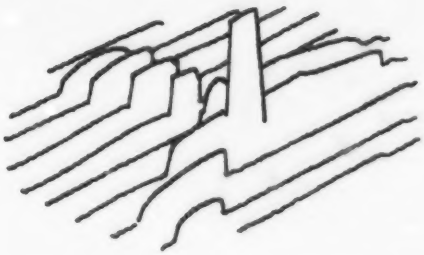


Figure 7 Image de distance partielle de la pince.

Les problèmes surgissent lorsque des faisceaux spécifiques ou surfels (éléments de surface) servent à guider en permanence les opérations de traitement subséquentes. Ce problème découle d'erreurs occasionnelles dans les données. Il est nécessaire d'utiliser à chaque étape un algorithme robuste qui traite le plus de données possible. On étudie des algorithmes qui effectuent la corrélation entre l'image partielle et un masque qui représente certaines caractéristiques intéressantes de la pince. La figure 7 montre une image partielle de la pince à partir de 10 profils de distance.

Planification des tâches en robotique

Programmation au niveau de la tâche

■ K.B. EVANS

Les objectifs de cette étude ont été décrits dans la livraison précédente du *Bulletin* (vol. 3, nº 1); elle porte sur la capacité d'un robot à comprendre la tâche à effectuer. La tâche doit être spécifiée au moyen d'une installation interactive sur laquelle un non-programmeur décrit la séquence des tâches nécessaires par l'intermédiaire d'un dialogue graphique. L'installation permettra aussi la simulation d'un certain nombre de situations de tâches. La sortie de ce progiciel sera une spécification de tâches, qui peut être transmise au système de planification et de commande en ligne du robot à capteurs.

Le système incorpore les notions suivantes :

- L'interface utilisateur doit permettre la description intuitive de la réalisation des tâches, de manière qu'elle puisse être utilisée par des non-programmeurs.
- Toute tâche d'assemblage peut être spécifiée sous forme d'une séquence d'états clés, au moyen d'une interface graphique relativement simple.
- Ces états clés peuvent être spécifiés sous forme de positions et d'orientations relatives, de manière que le système en ligne puisse déterminer les positions et orientations absolues au moyen des données des capteurs.

Le module de spécification des tâches est présentement formé d'une interface de style Macintosh implantée dans un poste de travail Symbolics, qui permet à l'utilisateur de spécifier la tâche sans qu'il lui

soit nécessaire d'apprendre la syntaxe d'un langage de programmation. L'interface exploite les outils de développement de l'environnement Symbolics/LISP/Flavors/Genera et offre à l'utilisateur la simplicité d'une bonne interface d'ordinateur individuel. Tous les choix de fonction ou d'action sont accessibles via des menus déroulants accessibles en permanence. À n'importe quel stade, on peut lire au bas de l'écran un texte d'une ligne indiquant à l'utilisateur les options qui ne sont pas évidentes. La plus grande partie de cette interface a été implantée.

L'utilisateur voit presque toujours une représentation graphique simple de l'état actuel de la tâche d'assemblage. L'une des options de base présentement installée est le passage en arrière-plan animé de la séquence actuelle d'instructions de spécification de tâches. Il nous reste encore à développer cette fonction au point où les difficultés détectées comme, par exemple, des pièces instables ou qui font obstacle, puissent être simulées hors-ligne.

Modélisation de l'environnement et planification des tâches ■ T. SHEPERTYCKI

Les livraisons antérieures du ***Bulletin*** ont mentionné que les systèmes de programmation du niveau de la tâche pour les robots nécessitent la représentation géométrique et spatiale du robot et de son environnement de travail. Le système orienté sur les objets décrit précédemment pour réaliser cette fonction a été enrichi de manière qu'il effectue la représentation et la manipulation de chaînes d'objets associés de sorte que le mouvement de tout objet dans la chaîne soit automatiquement transmis aux membres subséquents de la chaîne. On a créé à partir de cette extension un modèle tridimensionnel du robot PUMA 560. On a écrit un logiciel fondé sur cette approche par cadre pour la commande du robot PUMA 560 par l'émulation du langage de commande intégré VAL-II du robot.

L'intégration des modules logiciels ci-dessus à une coquille de système expert sur le marché, ART, a permis de produire un système expérimental avec lequel on réalise des expériences simples de planification de tâches. Signalons plus particulièrement une tâche d'assemblage par empilage dans laquelle une configuration initiale de N blocs disposés en M piles est modifiée par le robot en N blocs de P piles en conformité d'une configuration finale spécifiée par l'utilisateur. Dans cet exemple, nous exploitons largement le procédé de raisonnement hypothétique dont dispose ART. Pendant la phase d'exécution de cette expérience, en plus de contrôler le robot réel le programme ART communique aussi avec le modèle du robot dans le modélisateur de l'environnement ainsi qu'avec sa propre représentation du robot. Cette structure permet d'effectuer toute la programmation du niveau de la tâche à un niveau supérieur dans la structure fondée sur règles de la coquille de système expert.

Il est évident qu'il ne s'agit que d'une première étape puisque l'implantation complète de ce système doit comporter une fonction de vision intégrée et de détection tactile. Sans véritables «sens», la planification dans le monde réel est impossible puisque les actions qui risquent d'échouer ou de ne réussir que partiellement ne peuvent être détectées.

Finalement, on a entrepris dans le cadre général décrit plus haut des travaux sur l'enrichissement de la fonction de recherche du trajet pour le modélisateur du monde.

Robot mobile pour les applications en soins de santé

Plate-forme mobile autonome ■ D.A. GREEN – R. LISCANO

Un projet conjoint a été lancé en septembre 1987 par la Section d'automatique et la Section de génie médical en vue du développement d'un robot mobile pour les applications en soins de santé et à la maison. On s'est procuré une plate-forme informatisée de grande qualité à trois roues et elle formera la base des travaux. Des discussions sont en cours avec des partenaires externes quant aux possibilités de participation et de collaboration de leur part.

Jusqu'à présent, les recherches dans la Section d'automatique ont porté sur les deux sous-projets suivants : l'identification d'une méthodologie de commande appropriée qui formera la base des développements

futurs, et le développement d'une architecture informatique convenant à la production du prototype de R&D et à l'exploitation en temps réel de la plate-forme autonome.

Les objectifs intermédiaires liés aux fonctions de navigation ont été établis de la manière décrite ci-après. Au départ, la plate-forme mobile doit être capable de suivre un trajet déterminé défini par l'utilisateur et d'éviter les collisions avec des objets en ralentissant ou en s'arrêtant au besoin. Plus tard, des fonctions améliorées de détection à bord permettront à la plate-forme de produire automatiquement un trajet contournant les obstacles qui se trouvent en travers du trajet souhaité.

Télémètre pour robot mobile ■ G. BECHTHOLD – R. LISCANO

Un télémètre fondé sur un seule ligne formée de lumière structurée et d'une caméra de télévision est en cours de développement à titre de capteur de vision pour le robot mobile. Un modèle du dispositif a été réalisé en vue des premières évaluations. On a commencé la conception des circuits électroniques pour l'extraction de l'objet le plus proche et la construction d'un système de direction servomécanique pour la rotation du télémètre en azimut.

■ Traitement des images de distance pour la reconnaissance des objets

■ S.H.Y. HUNG

Reconnaissance des objets tridimensionnels d'après des descripteurs globaux

On étudie présentement une méthode de reconnaissance des objets tridimensionnels fondée sur les propriétés globales des données d'images de distance. Ce système n'extrait pas les caractéristiques géométriques comme les rebords, les arêtes et les surfaces ni leurs relations; il considère plutôt les images de distance d'un objet depuis tous les angles d'observation possibles.

Chaque image tridimensionnelle se caractérise par ses dimensions et la forme de sa silhouette, l'écart-type des valeurs z, et la répartition des valeurs en z dans le plan (x, y). Les quatre paramètres d'images de tous les angles d'observation d'un objet forment le modèle de l'objet et sont mémorisées dans une base de données de modèles qui est structurée de manière que les recherches s'effectuent rapidement.

Lorsqu'une image d'entrée se présente, ces paramètres sont calculés et servent aux recherches dans la base de données de modèles. Une limite de tolérance à deux niveaux sert à éliminer rapidement la plupart des candidats de toute évidence inappropriés, sans la nécessité de les explorer entièrement. À la fin de la recherche, il reste un petit nombre de candidats dont les paramètres correspondent aux données d'entrée. S'il ne reste qu'un angle d'observation de l'objet ou un groupe d'angles adjacents de l'objet, on considère alors que le problème est ramené à celui de déterminer la position-orientation exacte de l'objet identifié, un processus fondé sur des caractéristiques géométriques. Si à la fin de la recherche tous les candidats ont été éliminés (rejet), les données d'entrée ne peuvent être associées à aucun objet de la base de données de modèles. S'il reste plusieurs candidats, l'objet inconnu doit être analysé d'un deuxième angle d'observation et ce nouveau jeu de données d'entrée doit servir à réduire encore plus le champ de candidats potentiels.

Les résultats préliminaires obtenus au moyen de données réelles et simulées sont encourageants. Puisque l'extraction des caractéristiques locales n'est pas nécessaire pour la recherche, les exigences de mémorisation et de calculs en ligne restent très simples et cette méthode fait donc preuve d'un bon potentiel pour l'implantation d'un système de vision robotisée pratique.

Progiciel de modélisation tridimensionnelle pour la production d'images de distance simulées

On a écrit un progiciel de modélisation géométrique pour la production de données de distance simulées qui ressemblent de près à celles recueillies par le télémètre laser présentement utilisé. On a aussi produit les données de distance pour la construction d'une bibliothèque de modèles du système de reconnaissance des objets tridimensionnels.

Dans ce progiciel, chaque objet est décrit par toutes ses surfaces. Chaque surface est divisée en une ou plusieurs régions qui peuvent être décrites par la forme Bézier en $X(s, t)$, $Y(s, t)$ et $Z(s, t)$ des équations paramétriques obtenues à partir des points clés qui définissent la région.

Lorsque la série de points clés d'un objet a été introduite dans le système, le progiciel peut produire des données d'analyse simulées de cet objet pour tout angle d'observation souhaité. Les données simulées sont très près des données obtenues par analyse de l'objet réel avec le télémètre.

Ce progiciel pourrait aussi former un outil utile pour le soutien des travaux sur le traitement des données de distance lorsqu'on ne dispose pas d'un bon télémètre.

Référence

1. Rioux, M. Laser range finder based on synchronized scanner. Appl. Opt. 23(31): 3837–3844; 1984.

MÉMOIRES RÉCENTS — SECTION D'AUTOMATIQUE

Publiés

- ☐ Archibald, C. Automated vision: fundamentals and general overview. Proceedings of the 2nd National Symposium on Computer Image Processing, Chisholm Institute of Technology, Caulfield (Victoria) Australie. 14–15 juillet 1987. pp. B1–B1.4. CNRC 29134.
- ☐ Archibald, C. Case studies in machine vision: companies and applications. Proceedings of the 2nd National Symposium on Computer Image Processing, Chisholm Institute of Technology, Caulfield (Victoria) Australie. 14–15 juillet 1987. pp. B6.2–B6.5. CNRC 29135.
- ☐ Archibald, C. Trends in automated vision. Proceedings of the 2nd National Symposium on Computer Image Processing, Chisholm Institute of Technology, Caulfield (Victoria) Australie. 14–15 juillet 1987. pp. C1–C1.6. CNRC 29136.
- ☐ Dhome, M., et Kasvand, T. Polyhedra recognition by hypothesis accumulation. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. PAMI-9(3): 429–438; 1987. CNRC 29137.
- ☐ Domey, J., et Burtnyk, N. 3D vision for robotics and automation. Compte rendu du Congrès du centenaire du génie canadien, Montréal (Qué.). 18–21 mai 1987. pp. 8.3.1–8.3.13. CNRC 27959.
- ☐ Gentleman, W.M., et Stewart, D.A. Debugging multitask programs. CNRC/ERB-1008, septembre 1987. 15 pages. CNRC 28252.
- ☐ Gentleman, W.M., Wein, M., MacKay, S.A., Stewart, D.A., Parr, R.K., et Green, D. Harmony, an operating system for embedded industrial multiprocessor applications. IEEE Montech '87 – Compint '87, Montréal (Qué.) 12 novembre 1987. pp. 249–252. CNRC 28016.
- ☐ Kasvand, T., Oka, R., Dhome, M., et Rioux, M. Object detection and recognition from 3D camera images. Microcomput. Appl. 5(2): 55–58; 1986. CNRC 29129.
- ☐ Merritt, C., et Kasvand, T. An interactive system for studying plant chromosomes. Compte rendu du Colloque sur la Video-Microscopie, Ottawa (Ont.). 21 mai 1987. CNRC 29138.
- ☐ O'Hara, D.H. Multiprocessor robot control for assembly: a demonstration with tactile feedback for prismatic shaped block insertion. Proceedings of the 7th International Conference on Robot Vision and Sensory Controls, Zurich, Suisse. 2–4 février 1988. pp. 141–148. CNRC 28278.
- ☐ O'Hara, D.H., et Kurtz, R. Prismatic-shaped block insertion: an application of a multiprocessor robot controller using Harmony. CNRC/ERB-1006, décembre 1987. 60 pages. CNRC 28493.
- ☐ O'Hara, D.H., Elgazzar, S., et The, G. ALTER-Harmony: control of a PUMA robot from the Chorus multiprocessor. CNRC/ERB-1002, décembre 1987. 34 pages. CNRC 28492.
- ☐ Rioux, M., Bechthold, G., Taylor, D., et Duggan, M. Design of a large depth of view three-dimensional camera for robot vision. Opt. Eng. 26(12): 1245–1250; 1987. CNRC 29130.
- ☐ Umeyama, S., et Kasvand, T. A new algorithm for point and plane pattern matching. CNRC/ERB-1009, novembre 1987. 70 pages. CNRC 28455.

- ☐ YAMADA, H., ET KASVAND, T. Transparent object extraction from regular textured backgrounds by using binary parallel operations. Comput. Vision, Graphics, Image Process. 40(1): 41–53; 1987. CNRC 29139.

Présentés

- ☐ ARCHIBALD, C. Sensor based robotics at NRCC. Chisholm Institute of Technology, Center for Robotics, Caulfield (Victoria) Australie. 29 juillet 1987.
- ☐ BURTNYK, N. Research on autonomous systems. CNRC/DGE Association de la Science, Ottawa (Ont.). 12 janvier 1988.
- ☐ ELGAZZAR, S. Systems architecture of a multiprocessor robot controller. Part II. Séminaire, École Polytechnique, Montréal (Qué.). 3 février 1988.
- ☐ GENTLEMAN, W.M. Parallel experiences. Séminaire, Division d'informatique, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa (Ont.). 9 septembre 1987.
- ☐ GENTLEMAN, W.M. Multiprocessor realtime applications. IEE International Specialist Seminar on «The Design and Application of Parallel Digital Processors,» Lisbonne, Portugal. 11–15 avril 1988.
- ☐ GENTLEMAN, W.M., ET STEWART, D.A. A development environment for Harmony. Bell Northern Research, Ottawa (Ont.). 5 février 1988.
- ☐ GREEN, D. Systems architecture of a multiprocessor robot controller. Part I. Séminaire, École Polytechnique, Montréal (Qué.). 3 février 1988.
- ☐ HOSPITAL, M., YAMADA, H., KASVAND, T., ET UMEYAMA, S. 3D curve based matching method using dynamic programming. First International Conference on Computer Vision, Londres, Angleterre. 8–11 juin 1987.
- ☐ HUNG, S.H.Y. Introduction to computer networks. Department of Computer Sciences, Southwestern Jiaotong University, Sichuen, République populaire de Chine. novembre 10, 1987.
- ☐ HUNG, S.H.Y. Circuit switching, packet switching and network protoco'ls. Department of Computer Sciences, Southwestern Jiaotong University, Sichuen, République populaire de Chine. 12 novembre 1987.
- ☐ HUNG, S.H.Y. Local area and long-haul networks. Department of Computer Sciences, Southwestern Jiaotong University, Sichuen, République populaire de Chine. 17 novembre 1987.
- ☐ HUNG, S.H.Y. Encryption and network security. Department of Computer Sciences, Southwestern Jiaotong University, Sichuen, République populaire de Chine. 19 novembre 1987.
- ☐ HUNG, S.H.Y. Introduction to artificial intelligence. Department of Computer Sciences, Southwestern Jiaotong University, Sichuen, République populaire de Chine. 24 novembre 1987.
- ☐ HUNG, S.H.Y. Supercomputers. Department of Computer Sciences, Southwestern Jiaotong University, Sichuen, République populaire de Chine. 26 novembre 1987.
- ☐ HUNG, S.H.Y. Image processing and computer vision. Department of Computer Sciences, Southwestern Jiaotong University, Sichuen, République populaire de Chine. 1er décembre 1987.
- ☐ HUNG, S.H.Y. The state-of-art of computers and communication. Department of Computer Sciences, Southwestern Jiaotong University, Sichuen, République populaire de Chine. 3 décembre 1987.
- ☐ MACKAY, S. Code management and distributed development of the Harmony Operating System. Computer Graphics Laboratory, Université de Waterloo, Waterloo (Ont.). 25 novembre 1987.
- ☐ ROTH, G., ET ARCHIBALD, C. Sensor based robotics at NRCC. CAE Ltd., Montréal (Qué.). 1er juin 1987.
- ☐ ROTH, G., ET ARCHIBALD, C. Sensor based robotics at NRCC. Department of Electrical and Computer Engineering, University of Michigan, Ann Arbor (MI). 5 juin 1987.
- ☐ ROTH, G., ET ARCHIBALD, C. Sensor based robotics at NRCC. General Motors Technical Center, Warren (MI). 8 juin 1987.
- ☐ WEIN, M., GENTLEMAN, W.M., MACKAY, S.A., STEWART, D.A., GREEN, D., ET PARR, R. Software development for Harmony Operating System and for applications. Institut de Recherches d'Ottawa Carleton, Ottawa (Ont.). 28 mai 1987.

SECTION DE RECHERCHES EN INFORMATIQUE

Chef de section — J.W. Brahan

■ Introduction

La Section de recherches en informatique s'intéresse à la recherche et au développement dans le domaine de l'intelligence artificielle appliquée, en particulier en ce qui a trait aux systèmes à base de connaissances. Les projets qui constituent le programme de la Section visent le développement d'outils et de méthodologies pour les systèmes à base de connaissances et leur application en fonction de besoins réels. On favorise tout particulièrement la collaboration avec d'autres centres de recherches, au CNRC et ailleurs. À l'heure actuelle, la Section collabore avec le Laboratoire de génie biomédical sur des recherches en apprentissage par la découverte à partir de bases de données médicales et avec le Laboratoire des moteurs de la Division de génie mécanique en vue de l'application des systèmes experts au contrôle de l'état des moteurs. La Section compte parmi ses collaborateurs externes l'Université Laval, SystemOID Inc., Système Métavision et l'University of Leeds. Puisque le personnel disponible ne suffisait plus à la tâche, on a mis fin cette année au projet des systèmes d'informations techniques, mais on a repris certaines composantes pertinentes de ce projet dans le programme des systèmes experts. Pendant la période couverte par le présent rapport, la plus grande partie des efforts ont été consacrés à l'élaboration de l'installation de développement et à l'acquisition du savoir-faire associé. Pendant l'année qui vient, nos activités porteront en priorité sur l'application de ce savoir-faire en collaboration avec d'autres centres.

■ Systèmes à base de connaissances ■ W.H. Henneker – S. Abu-Hakima – J.W. Brahan – L. Buck – P.L. Davidson – B. Farley – R.A. Orchard – A. Parent – F.B. Vernadat

Ce projet vise le développement et la démonstration d'une méthodologie souple et des outils de soutien pour la création de systèmes assurant l'acquisition, la représentation et l'application des connaissances. Ce projet comprend le développement d'un système prototype qui fasse la démonstration de l'apprentissage inductif, l'étude des systèmes experts de «deuxième génération» qui exploitent des modèles de domaines dans leur base de connaissances, ainsi que le développement et la démonstration d'interfaces utilisateurs destinées aux systèmes experts.

Pendant la période couverte par le présent rapport, on a mis sur pied un réseau de cinq postes de travail SUN-3. On a par la suite ajouté au réseau une machine LISP Symbolics 3620 et un Data General MV/8000 que nous possédions déjà. Le logiciel TCP/IP permet le transfert des fichiers et l'entrée en communication à distance sur tous les noeuds. L'environnement logiciel ART a été implanté sur les machines SUN-3. Certains membres du personnel ont été formés à l'utilisation de ce logiciel et ont par la suite animé deux séances de formation pour les autres intervenants du projet et les collaborateurs externes. Les algorithmes d'apprentissage inductif ID3 et AQ11 ont été étudiés et reconstruits respectivement en C et en LISP. Le logiciel AQ11 a été fourni à un collaborateur externe en vue de la production de règles de classification destinées à un système expert basé sur des règles. Les travaux dans le domaine des interfaces utilisateurs ont permis la collaboration avec la société Système Métavision Inc. de Montréal en vue du développement d'une interface en langage naturel pour leur système expert tutoriel.

Étude des outils de construction de systèmes experts commerciaux

Dans le cadre de la phase d'apprentissage du projet des systèmes à base de connaissances, une partie du travail a porté sur l'étude des systèmes experts commerciaux sur le marché. Leur coût varie de moins de 100 $ à plus de 50 000 $. Parmi les approches adoptées on compte les systèmes fondés sur des règles avec

inférence de chaînage strictement avant, ceux avec fonctions de chaînage avant et arrière, les systèmes à processus inductif qui produisent des règles à partir d'exemples, etc. Si possible, nous avons obtenu des copies des systèmes de démonstration. Parmi les systèmes étudiés on compte AutoIntelligence, 1ST Class, Rulemaster, KDS 3 (ces quatre systèmes comportant une fonction d'induction), PC Plus, Intelligent Compiler, Crystal, Goldworks, KEE et ART.

La Section a accordé à Acquired Intelligence Inc. de Victoria en Colombie-Britannique un contrat portant sur l'étude de l'automatisation de l'acquisition des connaissances par les systèmes experts. Le contrat a donné lieu à la publication d'un rapport intitulé «Investigation of Automated Knowledge Acquisition» et à un atelier d'une journée au CNRC. Le rapport traite des principes psychologiques à la base des méthodes d'acquisition automatique des connaissances. Il décrit un bon nombre de systèmes automatisés, y compris ceux basés sur la méthode de grille de répertoires (PLANET, PEGASUS, KITTEN, ETS, NeoETS, AQUINAS) et d'autres méthodes (NEXSYS, SAVANT, SEAR/R1/RIME, SALT, etc.). Le rapport couvre aussi les systèmes d'apprentissage par la machine comme, par exemple, AQ11/AQ15, INDUCE, CLUSTER/2, MARVIN, DUCE et ID3. Le rapport se termine par un survol de quelques systèmes commerciaux.

Interface en langage naturel pour un système expert-tuteur

Nous travaillons actuellement au développement d'un interface en langage naturel pour le module d'explication d'un système expert-tuteur mis au point par la compagnie Système Métavision Inc. de Montréal. Ce système utilise présentement un interface par menus. Le module d'explication est constitué d'un ensemble de primitives qui permettent d'interroger le système et d'obtenir des informations sur les règles décrivant le domaine d'application, sur les faits connus et les faits conclus, etc. Ces primitives sont des fonctions dont le nom fait référence au type de requête et dont les arguments contiennent le propos de la requête. Le but de l'interface en langage naturel est de permettre à un usager de ce système de poser ses requêtes en français, et son rôle est de traduire ces requêtes en la primitive correspondante, avec ses arguments. Des exemples de primitives sont : pourquoi_demandé(Fait), pourquoi_pas_demandé(Fait), comment_conclu(Fait), pourquoi_pas_conclu(Fait), expliquer(Règle), etc.

Nous utilisons présentement le système d'analyse mis au point par Michael McCord, appelé «Modular Logic Grammar», que nous sommes à adapter à la langue française. Cette grammaire constitue en fait une version augmentée du formalisme appelé «Definite Clause Grammar». Cette augmentation consiste en l'apparition de terminaux logiques dans les règles de grammaire, en la distinction entre non-terminaux forts et non-terminaux faibles, et en l'utilisation d'un opérateur de décalage pour les constructions syntaxiques avec imbrication à gauche. La «MLG» présente une grande modularité entre les analyses syntaxique et sémantique. Une analyse syntaxique est d'abord effectuée; celle-ci produit un arbre d'analyse syntaxique dont les noeuds correspondent aux non-terminaux forts, et les feuilles aux terminaux logiques. Ensuite, on passe à l'analyse sémantique qui réorganise la disposition des divers items sémantiques associés aux terminaux logiques, selon le degré de couverture (scope) des quantificateurs, et les joint ensuite ensemble. Le résultat de cette analyse consiste en un item sémantique comprenant une forme logique qui représente en principe le sens de la phrase traitée.

L'interface en langage naturel est développé en Arity/Prolog sur un micro-ordinateur compatible avec l'IBM AT, qui correspondent respectivement au langage utilisé pour la mise au point du système expert-tuteur, et au type de micro-ordinateur sur lequel ce dernier a été développé et sur lequel on compte le commercialiser.

Un noyau de système expert pour la gestion des risques associés aux appareils médicaux (RIMES-Shell)

L'objectif de ce projet était de développer un prototype de noyau de système expert pour assister dans la tache de détermination des echelles de priorités d'instruments medicaux, selon le degré de risque qui leur

est associé. Cette application a été réalisée en collaboration avec le Bureau de la radioprotection et des instruments médicaux, Santé et Bien-être social Canada.

La Division de l'évaluation et de la déclaration du BRIM a la responsabilité d'étudier des problèmes spécifiques relatifs aux appareils médicaux, tels que rapportes par les utilisateurs et les fabricants, ainsi que des problèmes d'ordre plus généraux impliquant des groupes d'appareils similaires. Les differents problèmes doivent être évalués et classés en ordre d'importance pour poursuivre l'investigation dans le but d'arriver à des decisions concernant les modes de résolution les plus appropriés.

L'évaluation des problèmes et l'identification efficace des strategies de resolution deviennent de plus en plus complexes pour une varieté de raisons, mais sûrtout à cause de l'évolution technologique rapide, de l'augmentation de la sophistication, du nombre croissant d'appareils dans le système de santé, du delais d'identification des risques et avantages des nouvelles technologies pouvant s'étendre tardivement dans la durée de vie des appareils et du manque d'information sur la nature et les conditions d'occurrences des problèmes au Canada.

L'approche qui a été suivie dans ce projet est de developper un noyau de système expert specialisé à ce domaine d'application. Un modèle de décision algorithmique à été amélioré en intégrant des techniques de traitement de la connaissance. Des petites bases de règles sont attachées aux différents concepts dans la structure de données. Pendant le processus de decision, les bases de règles peuvent être traitées par différents mécanismes d'inférences, tels que le chaînage avant et arrière, ainsi que par la propagation de contraintes. Le noyau comprend un editeur des bases de données et de connaissances et un module d'interface usager–système à base de menus. Le système à été implanté en Common LISP sur un Data General MV-8000.

Modélisation de l'utilisateur dans les systèmes à base de connaissances

Ces recherches ont comme objectifs l'identification des besoins liés à une installation de soutien à la modélisation de l'utilisateur dans les systèmes à base de connaissances et le développement de cette installation. Les travaux liés au premier objectif, l'identification des besoins en matière du modèle de l'utilisateur, sont présentement en cours. Ces travaux consistent en une étude théorique du traitement de l'information par l'humain et tient compte du type de modèle, de la méthode d'inférence des comportements et des principes de représentation des connaissances.

Le modèle de l'utilisateur est formé de toute information dans un programme qui soit spécifique à un utilisateur de ce système. Ces informations peuvent varier d'un simple compte du nombre de réponses incorrectes à des questions jusqu'à une structure de données complexe qui tente de représenter une portion pertinente des connaissances de l'utilisateur. On suppose que la modélisation de l'utilisateur améliore la performance des systèmes interactifs. Il est souhaitable d'incorporer un certain degré d'adaptabilité lorsque les communications avec l'utilisateur sont importantes ou lorsque le système doit être utilisé par des gens très variés. Le modèle de l'utilisateur doit être conçu en vue de sa contribution à l'efficacité du système (c'est-à-dire la pertinence des décisions prises par le système), du rendement (c'est-à-dire la facilité de réalisation des opérations internes du système) et de l'acceptabilité (c'est-à-dire le système du point de vue de l'utilisateur).

Le modèle de l'utilisateur ou les représentations des connaissances de l'utilisateur doivent être définis dans une architecture cognitive et un cadre de traitement de l'information. Ils doivent être fondés sur un modèle des processus sémantiques et épisodiques. On peut identifier trois dimensions distinctes des modèles de l'utilisateur : les modèles canoniques ou individuels, les modèles explicites ou implicites, les modèles à court terme ou à long terme. Les modèles canoniques se distinguent par l'établissement des caractéristiques d'un seul utilisateur typique tandis que les modèles individuels passent par l'établissement des besoins propres à chaque utilisateur. Les modèles explicites sont spécifiés soit par le concepteur du système soit par

les utilisateurs. Les modèles implicites découlent d'inférences effectuées par le système à partir du comportement de l'utilisateur. Les modèles à long terme décrient les propriétés de l'utilisateur devant être contrôlées sur une période relativement longue, tandis que les modèles à court terme peuvent porter, par exemple, seulement sur le problème que l'utilisateur cherche à résoudre. Les méthodes d'inférence du degré de connaissance des concepts par l'utilisateur peuvent être classées en fonction de quatre approches : (1) la comparaison de la performance à un étalon prédéterminé ou modélisation par «différence avec l'expert»; (2) la reconnaissance de séquences comportementales mémorisées qui indiquent un manque de familiarité avec un concept, ce que l'on appelle la détection «d'intention erronée»; (3) la recherche d'un modèle parmi un ensemble de modèles possibles pour repérer un modèle d'utilisateur particulier; et (4) l'analyse de la fréquence d'utilisation des concepts. Le processus de représentation des connaissances choisi doit être indépendante du modèle. Elle doit aussi faire preuve de souplesse et pouvoir s'adapter à des détails aussi subtils ou aussi grossiers que l'exige la situation et à des connaissances incomplètes ou contradictoires.

Apprentissage par les machines

L'objectif global de ce projet est l'étude de méthodes d'apprentissage par la découverte à partir de données et la démonstration de la faisabilité de cette approche par son application à un sous-ensemble d'analyse criminelle et à une base de données médicales.

Dans sa plus simple expression, l'induction peut être considérée comme la répartition d'un ensemble d'objets en sous-ensembles dont les éléments sont reliés à certaines mesures significatives. Elle impose à ces ensembles une structure qui établit des liens entre les sous-ensembles et les classes, et simplifie la description de l'ensemble complet. Dans la première application, nous voulons décrire des sous-ensembles de données de vols par effraction de telle manière qu'il soit possible d'identifier des cas reliés et fournir une description des individus d'après leurs activités. Dans la seconde application, nous voulons déterminer les classifications de maladies à partir d'une base de données sur la dégénérescence rétinienne familiale. En raison de la disponibilité respective des données, les travaux ont jusqu'à présent surtout porté sur la première application. Trois approches de l'apprentissage inductif semblent faire preuve d'un certain potentiel. L'une d'entre elles applique les transformations par réduction symbolique à la description logique des données pour indentifier de nouveaux termes ou configurations plus génériques (par exemple DUCE). La deuxième méthode utilise des méthodes quasi-statistiques pour identifier des sous-ensembles ou «notions» dans un ensemble de données. La troisième méthode utilise l'approche de mémoire basée sur la généralisation, selon laquelle les membres d'un noeud de mémoire partagent des valeurs prédictives et prévisibles (par exemple UNIMEM).

Les travaux de ce projet ont été entrepris pendant une visite d'étude au Turing Institute où le logiciel DUCE de Muggleton est d'usage courant. Ce logiciel utilise six transformations de réduction symbolique pour simplifier la description logique de l'ensemble de données. La plupart des travaux effectués à ce jour ont porté sur l'application de DUCE, surtout du point de vue de la structure des attributs. Plus récemment, le programme UNIMEM de Lebowitz, que nous avons obtenu de l'auteur, chercheur à Columbia University, a été implanté dans le système du CNRC et le traitement des données de vols par effraction avec UNIMEM est maintenant en cours. Un certain nombre de problèmes liés aux attributs restent à résoudre, en particulier l'emplacement géographique, l'heure, et les relations entre l'heure et la distance. Toutefois, les résultats du traitement avec DUCE et UNIMEM indiquent qu'il est possible de produire des structures valides à partir de ces méthodes.

■ Systèmes conseillers intelligents

■ J.W. Brahan – S. Abu-Hakima – R.A. Orchard – A. Parent – C.S. Phan

Un Conseiller intelligent destiné à un système informatique interactif est en cours de développement. Il donnera à l'utilisateur du système des conseils spécifiquement adaptés à ses besoins immédiats. Le Conseiller pourra donner un cours structuré au néophyte ou, en mode d'arrière-plan, contrôler l'interaction entre

l'utilisateur et le système, et donner les réponses pertinentes aux demandes d'aide. Le projet a été entrepris en collaboration avec l'Université Laval, l'University of Leeds et SystemOID Inc., une filiale de Price Waterhouse.

Les travaux sur le projet ont été formellement lancés lors d'une réunion des intervenants en juillet 1987, au cours de laquelle un consensus s'est dégagé quant au concept fondamental du Conseiller et aux responsabilités respectives des organismes participants. Le Conseiller comporte les composantes principales suivantes : le contrôleur et l'interface (CNRC), le module tutoriel (Laval), le modèle de l'utilisateur (CNRC), le planificateur (CNRC), le module de réponse aux questions (Leeds), la base de connaissances des sujets (Laval et CNRC) et le système cible pour la démonstration de faisabilité (SystemOID Inc.). La phase de définition du concept de la méthodologie de conception de la base de données fera l'objet de la démonstration de faisabilité et l'outil de conception de bases de données CONSOI-ERM produit par SystemOID Inc. constituera le système informatique cible.

Pendant la période qui fait l'objet du présent rapport, la plus grande partie des activités ont porté sur l'identification des notions à la base de l'utilisation de CONSOI-ERM et des protocoles de résolution des difficultés de l'utilisateur. Les notions retenues découlent de cours sur la méthodologie de conception de bases de données qui se donnent présentement au Département d'informatique et au Département de management de l'Université Laval. On a entrepris la cueillette initiale des protocoles de résolution des problèmes par l'observation des étudiants de ces deux cours. Une installation de simulation a été installée à Laval qui permettra l'étude d'un conseiller humain en interaction avec l'utilisateur, avec des contraintes semblables à celles imposées par un système informatique. Le conseiller humain ne peut communiquer avec l'utilisateur que par le clavier et les seules informations qu'il possède sur l'utilisateur sont celles affichées sur l'écran de l'utilisateur. Les séances sont enregistrées sur bande vidéo et on a entrepris l'analyse des premiers résultats au CNRC, avec la collaboration d'un chercheur de l'University of Leeds, pour en extraire les protocoles.

Les travaux préliminaires ont commencé en vue de la définition des besoins fonctionnels du module planificateur et sur les besoins de l'interface de communication entre CONSOI et le Conseiller. La prochaine phase visera la définition de l'architecture fonctionnelle du Conseiller et de la base de connaissances des sujets.

■ Systèmes à base de connaissances/systèmes experts pour le contrôle des appareils et le diagnostic des défaillances

■ H. El-Zorkany – P.L. Davidson – C.S. Phan

Le progrès de la pratique du contrôle de l'état des moteurs (EHM) et du diagnostic des défaillances nécessite la réalisation de travaux de recherche et développement dans deux secteurs. Tout d'abord, produire (et valider dans la pratique) le savoir-faire approprié, puis mettre ce savoir-faire à la disposition des utilisateurs sur le terrain. Le Laboratoire des moteurs du Conseil national de recherches effectue des travaux qui relèvent du premier secteur. Puisque la technologie de l'intelligence artificielle pourrait être utile dans le deuxième secteur et que le ministère de la Défense nationale (MDN) et la direction du CNRC ont manifesté leur intérêt pour cette question, on a lancé en avril 1987, dans le cadre du programme des systèmes intelligents à base de connaissances du Laboratoire des systèmes de la Division de génie mécanique du CNRC, un projet qui porte sur ces questions. Le projet a été mis sur pied en collaboration avec le Laboratoire des moteurs du CNRC, tandis que le MDN accorde son soutien financier. Par suite de la réorganisation en cours au CNRC, le programme des systèmes à base de connaissances du Laboratoire des systèmes a été dissous et ses ressources ont été transférées à la Division de génie électrique du CNRC en septembre 1987. Un nouveau plan de projet a été développé et on réunit présentement une nouvelle équipe de projet pour la suite des travaux.

Les objectifs globaux du projet sont l'évaluation du potentiel des applications des systèmes à base de connaissances et des systèmes experts au contrôle de l'état des machines et au diagnostic des défaillances, ainsi que des recherches génériques à long terme visant l'accroissement du potentiel de ces applications.

Au départ, on s'intéressera surtout aux turbines à gaz et plus particulièrement aux réacteurs, en raison

des besoins de notre client actuel (MDN) qui assure une partie du financement de ce projet. L'approche retenue pour la réalisation du projet comporte les principaux objectifs suivants :

- Identification (en collaboration avec le Laboratoire des moteurs du CNRC) des problèmes du contrôle de l'état des moteurs qui seraient probablement pertinents à cette application des systèmes à base de connaissances/systèmes experts (SBS/SE) et évaluation des ressources nécessaires à ce projet.
- Développement d'un prototype expérimental de SBS/SE pour la réalisation d'un sous-ensemble de diagnostics des moteurs GE J-85 ou GE 404. Ces travaux ont été recommandés par le Laboratoire des moteurs par suite de leurs discussions avec le MDN. Au départ, on utilisera les manuels d'entretien actuels comme sources des connaissances. On prévoit que d'autres collaborateurs s'ajouteront au Laboratoire des moteurs, c'est-à-dire le MDN et Orenda Division de Hawker Siddeley Canada Inc., et fourniront les cas-types nécessaires et le savoir-faire approprié dans le domaine. De plus, on étudiera la pertinence du recours à l'hypermédia pour ce type d'application.
- Mise sur pied d'activités de recherches à long terme d'après les problèmes identifiés pendant les travaux de développement décrits ci-dessus. À l'heure actuelle, plusieurs secteurs semblent pertinents, plus particulièrement : la reconnaissance des configurations fondée sur les réseaux neuraux, le raisonnement et les modèles qualitatifs/causals, les tâches génériques et les bases de connaissances dans le domaine des moteurs, les méthodologies de développement de SBS/SE, ainsi que les outils de soutien appropriés.

■ Systèmes d'informations techniques

■ F.B. VERNADAT - A. FAMILI - W.H. HENNEKER - R.H. WYLIE

Ce projet vise la définition d'outils, de méthodes, d'architectures et de méthodologies pour la réalisation de systèmes d'informations de pointe pour le traitement des informations et la prise de décision destinés aux systèmes de production industriels. Les travaux ont porté sur la maintenance de la version actuelle de DBS/R et sur la poursuite du développement de cet environnement de base de données, sur des études portant sur la représentation et la manipulation des règles de production, des schèmes et des réseaux sémantiques du point de vue des structures de bases de données relationnelles, sur la définition des besoins fonctionnels et des spécifications de conception des systèmes de gestion des modèles, et sur l'étude de l'application de l'apprentissage par la machine aux systèmes de fabrication intelligents.

Maintenance et développement de DBS/R

L'environnement de base de données pseudo-relationnelle DBS/R a été traduit en langage C et son compilateur a été modifié, par l'entremise d'un contrat avec DMR Group Inc. d'Ottawa, de manière qu'il produise un code C. Après la réalisation de ces tâches, la documentation a été traduite en anglais et modifiée pour refléter la nouvelle version C. On a aussi traduit en C la fonction d'éditeur interactif et modifié son compilateur. Les travaux consistaient en l'implantation d'un module d'index T-arbre de manière à améliorer les index actuels de DBS/R, basés sur une table d'adressage dispersé. Cette activité a permis de satisfaire aux attentes de fonctionnalité et de rapidité.

Nous ne prévoyons pas d'autres travaux sur DBS/R. Bien que l'incorporation du module d'index T-arbre nécessiterait peu de travail, il serait inopportun d'y procéder sans réviser le système d'indexage actuel (ce qui nécessiterait la modification en profondeur des structures de données fondamentales de ce système). TAO Simulations Inc., une compagnie qui se spécialise en modélisation numérique, a manifesté son intérêt pour l'application de DBS/R à la gestion de modèles à éléments finis des systèmes hydrauliques. Nous leur avons fourni une copie de la version C et ils prévoient la convertir en format UNIX.

Recherche sur la gestion des modèles

Nous avons terminé la revue des méthodes de gestion des modèles et de modélisation. Puisque ce domaine est très vaste, nous nous sommes concentrés sur les recherches en gestion des modèles réalisées par

les intervenants en soutien à la décision et en simulation, et avons moins touché aux recherches plus spécialisées portant sur le soutien des modèles et de la modélisation en cours dans d'autres secteurs comme, par exemple, la programmation mathématique, la modélisation qualitative et la modélisation des données.

En parallèle avec ce travail, nous avons évalué le potentiel de l'application de la gestion des modèles aux systèmes de fabrication automatisée. Cette opération nous a permis de conclure que l'utilisation d'un formalisme basé sur un modèle de structuration des ressources informationnelles et analytiques produirait des systèmes plus faciles à développer, à maintenir et à agrandir. La sémantique des modèles et de la modélisation semble particulièrement appropriée dans trois secteurs, c'est-à-dire la gestion en temps réel (dans laquelle la complexité des procédés à gérer et les contraintes de temps suggèrent le recours à des librairies de modèles spécialisés), la planification et l'établissement des cédules (dans lesquels il est naturel de structurer le problème sous forme d'une hiérarchie de modèles, chacun représentant une vue distincte du système, soit du point de vue de la portée, de la granularitée ou des fonctions), et de la conception.

Ces travaux se poursuivront par la spécification d'un système de gestion des modèles (SGM) et par le développement du prototype. Une base de modèles représentant une installation fictive de fabrication et une base d'outils analytiques comportant des outils de planification sera ensuite développée et servira à l'étude et à la démonstration des possibilités du SGM.

Applications de l'apprentissage par la machine à la fabrication

Depuis les premières applications de l'IA au secteur de la fabrication, on s'intéresse à la réalisation de systèmes de décision en fabrication qui puissent améliorer leur performance par l'apprentissage. Cet intérêt s'est accru récemment en raison de la complexité des systèmes de gestion et de prise de décision en fabrication puisqu'on a conclu que ces systèmes seraient grandement améliorés par l'incorporation de méthodes d'apprentissage et d'accroissement de la performance.

Nos travaux visent à explorer les possibilités de l'application et la pertinence des méthodes d'apprentissage par la machine dans les systèmes de fabrication intelligents et à développer l'architecture d'un système superviseur intelligent avec fonction d'apprentissage qui permette d'améliorer les applications en fabrication intelligente.

On a entrepris les premières études sur l'application des méthodes d'apprentissage par la machine aux systèmes de fabrication. On a préparé le modèle hiérarchique d'un système de production industrielle et on a identifié les diverses tâches de prise de décision et de gestion dont la performance pourrait être améliorée par un système d'apprentissage.

On développe présentement l'architecture et le prototype d'un système superviseur intelligent pour les environnements de fabrication, appelé IMAFO. Le prototype comporte un simulateur de procédés, un mécanisme d'apprentissage, et un mécanisme de performance. À l'heure actuelle, le simulateur de procédés fournit des données qui pourraient éventuellement être produites par un procédé en temps réel. Le mécanisme d'apprentissage continuera de contrôler les procédés, à recevoir les données et les connaissances appropriées via les divers systèmes d'acquisition des données, à filtrer et à généraliser ces informations et à tenter de comprendre le mieux possible tous ces éléments. Le mécanisme de performance recevra les résultats du mécanisme d'apprentissage et planifiera la sortie par son générateur de sorties. Ce prototype est en cours d'implantation dans l'environnement de programmation ART avec une partie additionnelle en LISP. La figure 1 montre l'architecture de base de IMAFO.

Développement d'un gestionnaire d'intégrité perfectionné pour DBS/R

■ A. FAMILI

Le rôle majeur des ordinateurs dans les systèmes de fabrication intégrée est l'intégration de diverses fonctions comme, par exemple, la conception, la fabrication et les opérations d'affaires, en un système unifié et coordonné. La clé de cette intégration est le recours à une ou plusieurs bases de données exactes, fiables et bien structurées. L'objectif de nos travaux était la production de mécanismes efficaces d'intégrité des

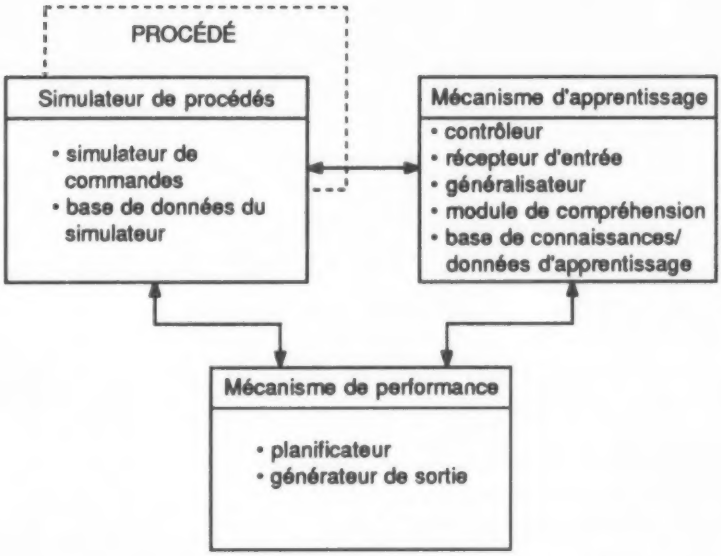


Figure 1 Structure d'un système intelligent de commande et de prise de décision (IMAFO).

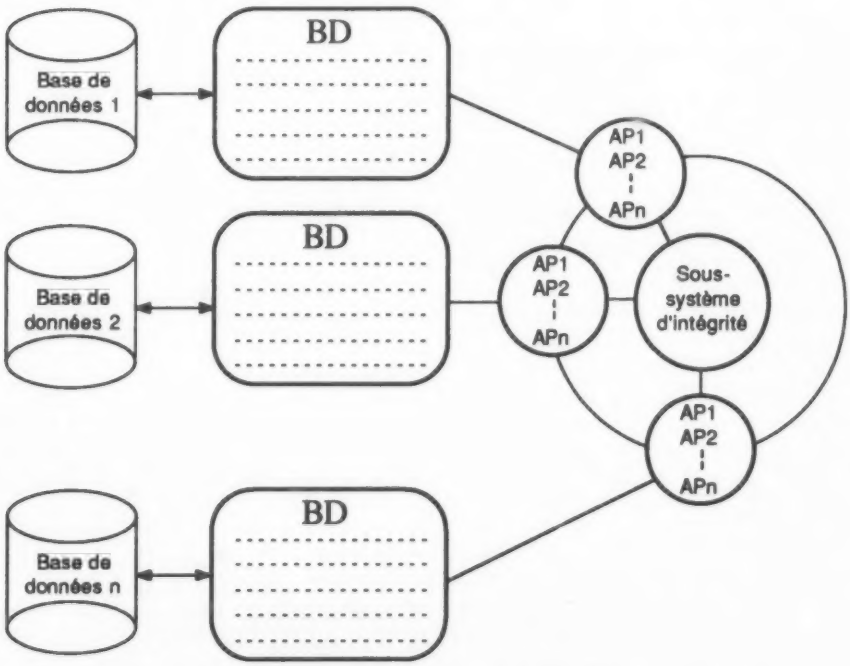


Figure 2 Schéma de l'approche LDM pour les sous-systèmes d'intégrité.

données pour protéger la base de données contre les transactions invalides dans DBS/R, un environnement de base de données relationelle pour les applications en fabrication.

Nous avons pris comme exemple une usine de fabrication automobile en Angleterre et avons élaboré le diagramme d'entités qui représente les diverses associations dans les entités. Le langage de définition des données (LDD) de DBS/R a ensuite servi à la représentation de cette information en un schéma et à la production d'un serveur de base de données (BD). Nous avons évalué avec soin deux approches d'intégration d'un mécanisme d'intégrité dans DBS/R. Dans la première approche, le serveur de base de données de l'usine de fabrication automobile a été développé de manière à y intégrer un sous-système d'intégrité comportant au moins une règle pour chaque attribut de chaque relation. La deuxième approche était fondée sur certaines primitives du langage de manipulation des données (LMD). Cette approche est très universelle et très souple et a permis le développement d'un gestionnaire d'intégrité qui permet à divers utilisateurs d'accéder à un noyau commun du sous-système d'intégrité et leur donne les informations nécessaires à l'établissement de leur propre mécanisme d'intégrité. On assurera les services de soutien du perfectionnement et de configuration de mécanismes d'intégrité spéciaux pour les utilisateurs de DBS/R. La figure 2 montre la structure fondamentale de la deuxième approche et du sous-système d'intégrité.

MÉMOIRES RÉCENTS — SECTION DE RECHERCHES EN INFORMATIQUE

Publiés

- ☐ Abu-Hakima, S. Conference report, Compint '87 at Montech '87: The Computer Aided Technologies, Montréal (Qué.). Can. Artif. Intell. Magazine, 16(April): 39–41; 1988. CNRC 28695.
- ☐ Abu-Hakima, S., et Oppacher, F. RATIONALE: reasoning by explaining. Proceedings of the Fourth International Conference on Data Engineering, Los Angeles (CA). 1er–5 février 1988. pp. 258–265. CNRC 28605.
- ☐ Brahan, J.W. Applied AI research and development at NRC. Can. Artif. Intell. Magazine, 14(January): 16–17; 1988. CNRC 29126.
- ☐ Davidson, C.H., Chailloux, J.-J., Davidson, P.L., et Ruberg, K. The impact of expert systems on the production and use of information in building design and construction. Report for the Working Commissions W57 and W74 of the International Council for Building Research, Studies and Documentation - C.I.B. Août 1987. 43 pages.
- ☐ Di Leva, A., et Vernadat, F. Information analysis and modelling of production systems. Proceedings of the 3rd International Conference on Advances in Production Management Systems (APMS 87), Winnipeg (Man.). 11–14 août 1987. pp. 427–439. CNRC 26050.
- ☐ Di Leva, A., Vernadat, F., et Bizier, D. Information system analysis and conceptual database design in production environments with M*. Comput. Ind. 9(3): 183–218; 1987. CNRC 28124.
- ☐ Di Leva, A., Vernadat, F., et Bizier. From enterprise analysis to conceptual database design in production systems. Proceedings of the 2nd International Conference on Production Systems, Paris, France. 6–10 avril 1987. pp. 191–207. CNRC 26337.
- ☐ Famili, A. Integrated software provides workcell autonomy. Robotics Today, 9(1): 18–20; 1987. CNRC 27417.
- ☐ Famili, A. Integrity subsystem of a relational manufacturing database. Proceedings of the 1987 ASME International Computers in Engineering Conference, New York (NY). 9–13 août 1987. pp. 97–102. CNRC 27492.
- ☐ Famili, A., et Vernadat, F.B. Integrity constraints of manufacturing databases. *Dans* International Trends in Manufacturing Technology, Control and Programming in Advanced Manufacturing. *Édité par* K. Rathmill. IFS (Publications) Ltd., Londres, Angleterre. 1988. pp. 37–56.
- ☐ Vernadat, F. Designing a data base for production systems. Can. Datasyst. 19(4): 55–56; 1987. CNRC 28291.
- ☐ Vernadat, F. Artificial intelligence in CIM databases. *Dans* Artificial Intelligence — Its Role in Computer-Integrated Manufacturing. *Édité par* A. Kusiak. IFS (Publications) Ltd., Bedford, R.-U. Chap. 7. CNRC 26585.

- ☐ VERNADAT, F. Représentation des connaissances et bases de données relationelles. Des Bases de Données aux Bases de Connaissances. *Édité par* S. Miranda. Editions P.S.I., Editests, Paris, France. 1987. pp. 83–103. CNRC 28292.
- ☐ VERNADAT, F. Reconnaissance de situation et commande situationnelle pour la conduite des ateliers de production. Rapport de recherche, Laboratoire d'Informatique Fondamentale et d'Intelligence Artificielle, Institut d'Informatique et de Mathématiques Appliquées de Grenoble, Grenoble, France. Décembre 1987. 86 pages.
- ☐ VERNADAT, F. Which way for the fourth-generation? Can. Datasyst. Sous presse. CNRC 28293.

Présentés

- ☐ ABU-HAKIMA, S. RATIONALE: developing expert systems that reason by explaining. Centre canadien de recherches sur l'informatisation du travail, Ministère des Communications, Laval (Qué.). 14 janvier 1988.
- ☐ ABU-HAKIMA, S. RATIONALE: Reasoning by explaining. CNRC/DGE Association de la Science, Ottawa (Ont.). 8 mars 1988.
- ☐ BRAHAN, J.W. Expert systems and their application. Laboratoire de recherches de l'Atlantique, Conseil national de recherches du Canada, Halifax (N.-É.). 9 mars 1987.
- ☐ CRABTREE, D., BRAHAN, J.W., MOUNT, H.T.J., NIKTASH, M., ET PRESSMAN, I.S. Finding order in chaos. Annual Conference of the Canadian Advanced Technology Association, Ottawa (Ont.). 18 avril 1988.
- ☐ DAVIDSON, P.L. Le processus d'acquisition de connaissances pour un système expert: les participants, la planification, les outils et les techniques. 55e Congrès de l'Association canadienne française pour l'avancement des sciences (ACFAS), Ottawa (Ont.). 18–22 mai 1987.
- ☐ DAVIDSON, P.L. La technologie des systèmes experts: problématiques de recherche et applications. École Polytechnique, Montréal (Qué.). 28 octobre 1987.
- ☐ DAVIDSON, P.L. Intelligence artificielle. Dans la série d'emissions «A la mi-temps,» animée par G. Héon, interview. Radio SRC-CBOF, Ottawa (Ont.). 3 novembre 1987.
- ☐ VERNADAT, F. Systèmes d'informations et bases de données dans les systèmes de production. Séminaire, Laboratoire GRAI, Université de Bordeaux I, Bordeaux, France. 15–16 avril 1987.
- ☐ VERNADAT, F. Systèmes d'information et reconnaissance de situations dans le pilotage d'atelier de production. Séminaire, INRIA–Lorraine, Nancy, France. 8 septembre 1987.
- ☐ VERNADAT, F. Représentation des connaissances et bases de données relationnelles. Journées AFCET «Des Bases de Données aux Bases de Connaissances,» Sophia-Antipolis, France. 28 septembre 1987.
- ☐ VERNADAT, F. Situation recognition and control, object-oriented programming and control of manufacturing job-shops. CNRC/DGE Association de la Science, Ottawa (Ont.). 4 novembre 1987.
- ☐ VERNADAT, F. Expert database systems: a tutorial. Séminaire, Laboratoire des systèmes intelligents, Division de génie électrique, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa (Ont.). 19 novembre 1987.
- ☐ VERNADAT, F. A methodology for information modelling and analysis and database design for production systems. Séminaire, Université Carleton, Ottawa (Ont.). 25 novembre 1987.
- ☐ VERNADAT, F. The LIFIA Laboratory, Grenoble, France. CNRC/DGE Association de la Science, Ottawa (Ont.). 2 décembre 1987.
- ☐ VERNADAT, F. Les travaux sur l'intelligence artificielle à Grenoble et à la Division de génie électrique du CNRC. Séminaire, Institut de génie des matériaux, Conseil national de recherches du Canada, Boucherville (Qué.). 4 décembre 1987.

SECTION PHOTONIQUE ET CAPTEURS

Chef de section — J. Domey

■ Introduction

Les activités de recherche de la Section photonique et capteurs ont pour but la découverte de nouveaux principes de mesure et la mise au point de systèmes de capteurs combinant les techniques optiques, électroniques et informatiques. L'automatisation industrielle est le but premier de nos activités, mais les techniques génériques développées ont trouvé des applications dans plusieurs domaines dont, par exemple, des capteurs pour l'aviation, le guidage de robots de soudage à l'arc, l'inspection de circuits imprimés et la reproduction d'objets tridimensionnels (3D).

Les travaux en vision 3D ont principalement porté sur la réalisation d'un capteur à champs de vision multiples permettant une haute précision et une grande flexibilité, un capteur 3D destiné à l'inspection de la position des composants sur des circuits imprimés, l'étude de détecteurs optiques de position à haute vitesse et l'étude de techniques de segmentation d'images 3D. L'expérience acquise sera appliquée durant la prochaine année à la réalisation d'un capteur 3D opérant à taux vidéo de même que la solution de problèmes majeurs des capteurs existants soit la plage dynamique en intensité et la sécurité.

Du côté de l'optique non linéaire, les travaux ont porté sur l'évaluation de techniques optiques de traitement d'images, et l'étude des guides d'ondes optiques non linéaires et de composantes optiques opérant à une longueur d'onde de 1,5 μm.

Les transferts de technologie et les collaborations avec plusieurs compagnies et groupes de recherche se sont poursuivis et de nouveaux ont débutés. En particulier, nous avons continué notre assistance aux deux compagnies à qui la technologie du capteur de vision 3D par balayage synchronisé a été transférée, incluant la démonstration des performances de la technique pour plusieurs applications spécifiques. Des images 3D ont aussi été fournies à des groupes de recherches dans le cadre de collaborations sur la vision 3D. Vu la forte demande d'images 3D, nous prévoyons d'ailleurs rendre disponible une banque d'images 3D pouvant servir au développement de logiciels d'analyse et de reconnaissance de formes. Une étude de faisabilité pour l'application de la technologie au projet de la station spatiale a aussi débutée. Dans ce cadre, les deux techniques que nous avons mises au point, le balayage synchronisé et BIRIS, seront évaluées.

La technologie du capteur à grande profondeur de vision développée l'année dernière, en collaboration avec la Section d'automatique, est transférée à la compagnie Servo-Robot Inc. De plus, dans le cadre de ce projet, un scientifique de la compagnie travaille sous notre supervision afin d'analyser les limites fondamentales de la triangulation en lumière cohérente.

D'autre part, Hymarc Engineering Ltd. a participé à la fabrication d'un prototype à haute vitesse destiné à l'inspection de circuits imprimés. Ce prototype utilise une diode à effet latéral et le taux d'échantillonnage est de l'ordre de 200 kHz. La profondeur de champs est de 10 mm et le bruit dans les données de profondeur de $\sim$50 μm rms.

L'expertise en optique non linéaire a permis, en particulier, de continuer l'assistance à une compagnie développant des capteurs optiques de champ électrique et de déformation de même que plusieurs autres compagnies ayant des intérêts dans ce domaine. Des collaborations très actives ont aussi été mises en place avec quelques universités.

■ Vision tridimensionnelle

Caméra 3D à volumes de mesure multiples

■ M. Rioux – F. Blais

Montage optique

Cette caméra est le troisième prototype construit à nos laboratoires. Il s'agit d'un système optique de mesure tridimensionnelle basé sur la triangulation et utilisant la technique du balayage synchronisé que nous avons brevetée et qui améliore grandement la résolution de mesure.

La figure 1a nous montre un schéma de l'arrangement optique. Une fibre optique amène la lumière de la source afin de minimiser l'encombrement de la caméra. De plus, cela permet de modifier aisément la longueur d'onde de la source lorsque requis pour des applications spécialisées. Les miroirs fixes de chaque côté du galvanomètre sont ajustables à l'aide de micromètres, ainsi que le support de la barrette à dispositif à transfert de charges (DTC) situé à l'arrière de la caméra. Ces ajustements permettent un changement de configuration rapide et précis.

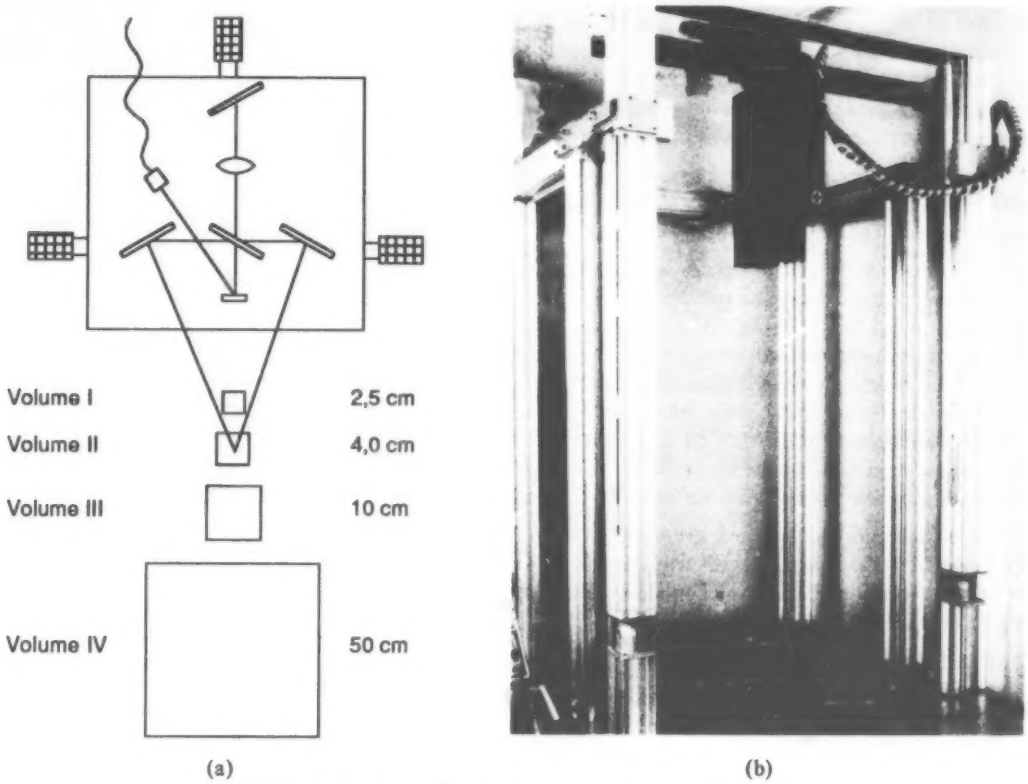


Figure 1 Capteur 3D à plusieurs volumes de mesure.

Une particularité de ce montage est que la lentille de collection est interchangeable afin de modifier le volume de mesure sans changer appréciablement la géométrie de l'ensemble. En effet, les focales des lentilles utilisées pour les différents volumes I, II, III et IV sont calculées de telles sortes que la distance lentille–DTC soit constante.

Cette caméra est maintenant en opération (voir la figure 1b) et nous procédons actuellement à l'évaluation des performances.

Unité de contrôle

Une unité spéciale de contrôle a été développée pour pouvoir utiliser facilement et exploiter pleinement le potentiel de cette nouvelle version du système de triangulation laser par balayage synchronisé.

Le schéma de fonctionnalité est représenté à la figure 2. Deux processeurs maîtres gèrent l'ensemble des processus : un processeur supervisant l'ensemble du système et une unité spécialisée contrôlant la caméra 3D. À ces deux processeurs maîtres se greffent quatre autres unités esclaves spécialisées, avec possibilité d'expansion future; une mémoire d'image de 4 M octets permettant d'emmagasiner temporairement les images mesurées et une unité graphique permettant la visualisation de ces images, un interface IEEE 488 fournissant les commandes nécessaires au moteur de translation de la tête optique, et un interface parallèle DR11W pour le transfert rapide avec le VAX des images et paramètres d'ajustements. L'interface à l'usager est régi par un ensemble de commandes tapées à la console principale.

Le contrôleur d'acquisition de la caméra 3D gère l'ensemble des paramètres concernant le contrôle de

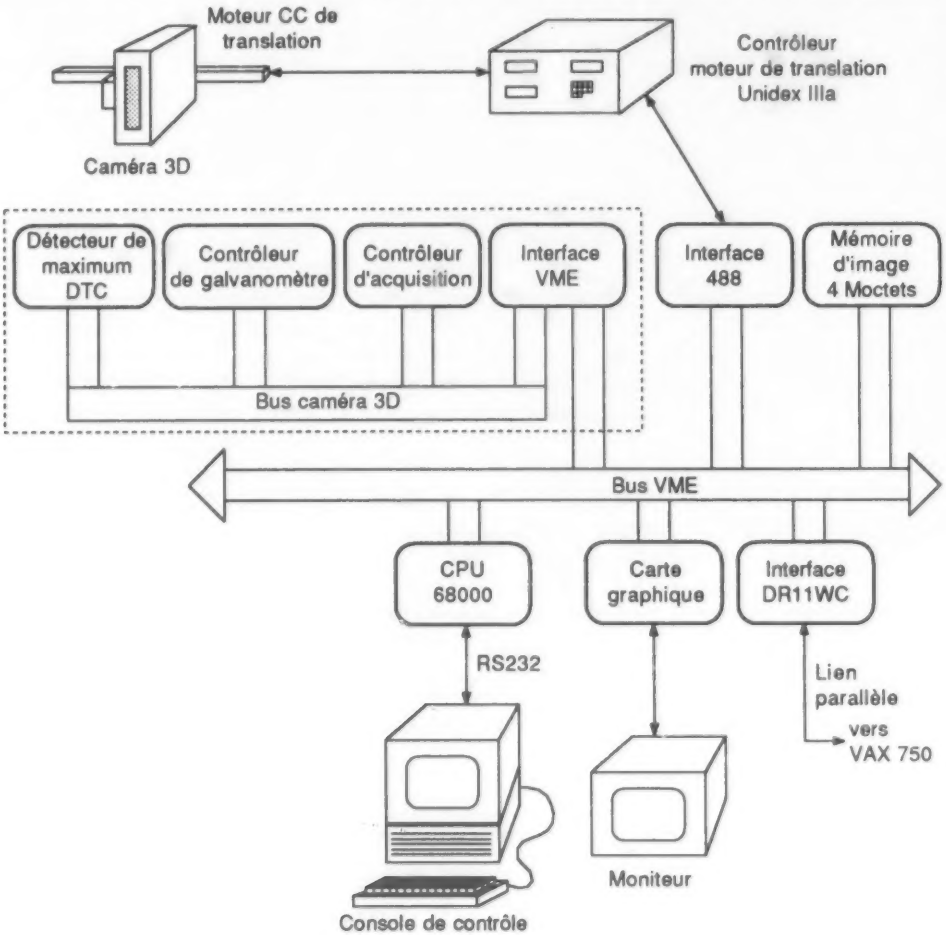


Figure 2 Capteur 3D à plusieurs volumes de mesure, module de commande.

la tête optique : vitesse et angle de balayage du faisceau laser (galvanomètre), nombre de points de balayage, type de balayage, nombre de lignes d'acquisition, temps d'intégration du DTC, validation des données, transfert DMA de ces données, etc.

La technologie de compensation des erreurs de gain, de zéro et de mauvais alignement du galvanomètre, par l'utilisation de phototransistors a aussi été améliorée et incorporée à ce système, permettant une mesure absolue fiable de l'angle du galvanomètre.

Les caractéristiques principales des éléments contrôlés par ce système sont :

- Détecteur DTC — vitesse de lecture, 10 MHz; longeur, 512 éléments; temps d'intégration programmable, 58 μs à 3,2 ms; résolution du détecteur de position, 1/8192; précision typique, 1/2000 à 1/4000.
- Balayage galvanométrique — balayage sinusoïdal ou triangulaire; angle de balayage optique maximum = 40°; précision absolue, 58 μrad (sinusoïdal); vitesse de balayage, ajustée en fonction de la vitesse du DTC et du nombre de points désiré; acquisition aller-retour; nombre de points par cycle, 256 à 16384.
- Unité de translation (moteur c.c.) — vitesse de déplacement, accélaration et décélération programmables et synchronisées avec l'acquisition; précision, 10 μm.
- Graphique — résolution, 1024 éléments × 1024 éléments × 4 niveaux de gris; fonctions : pan, scroll, zoom, expansion, compression, gain manuel et automatique, région d'intérêt, etc.

BIRIS en mode passif

■ F. Blais – M. Rioux

Des essais préliminaires ont été réalisés en utilisant la caméra BIRIS en mode passif, i.e. utilisant l'illumination naturelle de la scène (lumière ambiante) plutôt que la projection de lignes par l'utilisation d'un laser (cf. *Bulletin de la Division de génie électrique* (vol. 3, nº 1)).

En utilisant un masque, possédant deux orifices, placé devant la lentille d'une caméra à DTC conventionnelle, on obtient sur le détecteur DTC deux images de l'objet mesuré, superposées et décalées d'une distance qui est en relation directe avec la distance de cet objet de la caméra. L'auto-corrélation de cette image peut être utilisée pour mesurer cette séparation, la position du maximum nous indiquant la distance entre l'objet et la caméra. Cette technique fait présentement l'objet d'une évaluation précise.

Amélioration de la fonction de détection de position des capteurs de vision 3D à taux vidéo

■ J.-A. Beraldin – F. Blais

Le détecteur de position uniaxial est un des principaux éléments du capteur de vision tridimensionnelle qui fonctionne suivant le principe du balayage synchronisé. Il influe directement sur la vitesse et l'exactitude du capteur, ainsi que sur la plage de variation possible de réflectivité et d'orientation des surfaces. Pour réaliser un capteur de vision tridimensionnelle à taux vidéo, on a entrepris une étude détaillée des paramètres qui limitent la performance des techniques de mesure classiques basées sur une photodiode à effet latéral avec un circuit de conversion lumière–tension et de division à couplage c.c. En outre, une recherche a été entreprise sur de nouveaux détecteurs optiques et sur des pré-processeurs de signaux capables de répondre aux besoins d'exactitude dans une plage dynamique étendue de signaux reçus, qui varient en général de plus de six ordres de grandeur, et dans des environnements rudes caractérisés par de fortes variations de température et de la lumière parasite.

L'étude détaillée a mené à la création d'une méthode de conception systématique de capteurs de vision tridimensionnelle classiques, qui fait appel à une photodiode à effet latéral. Il est maintenant possible de caractériser entièrement les dérives, le rapport signal/bruit et la réponse en fréquence d'un modèle proposé, puis de le modifier au moyen de formules et de directives simples qui s'inscrivent dans le champ d'application cible du système. Cette méthode de conception a été éprouvée à l'aide de la nouvelle photodiode à effet latéral de construction spéciale. Ce capteur de position rapide a une plage dynamique d'intensité de 4000:1

et une plage dynamique de position de 500:1. Fort de ces résultats encourageants, on a entrepris l'étude sur le capteur de vision tridimensionnelle à taux vidéo lui-même.

Au cours de l'année, une technique de mesure qui peut être appliquée avantageusement au capteur de position tridimensionnelle à photodiode à effet latéral a été établie. Cette technique mesure les variations de phase produites par une tache lumineuse, mise au foyer, qui balaie le détecteur, l'intensité de la source ayant été modulée sinusoïdalement au préalable. Elle permet de réaliser un capteur de position qui est insensible aux dérives et à la saturation sous des éclairages intenses en lumière réfléchie. Comme ces problèmes sont de première importance dans les capteurs tridimensionnels classiques à photodiode à effet latéral, cette technique est prometteuse et on prévoit mettre sur pied un montage expérimental pour démontrer le principe d'un capteur de position fonctionnant au voisinage du taux vidéo (1 MHz).

Techniques pour élargir la plage dynamique des capteurs de position

■ J.-A. BERALDIN – F. BLAIS

Un problème important qui se pose dans tout système de vision est celui de l'effet des fortes variations d'intensité de la lumière reçue sur l'exactitude des mesures. La plage dynamique s'étend en général sur plus de six ordres de grandeur. Un travail de recherche a été entrepris dans le domaine de la régulation de l'intensité de la source pour nos télémètres à laser. On évalue actuellement une technique qui permettrait de centupler la plage dynamique des capteurs de position à DTC.

Interpretation des images 3D

Segmentation d'images de profondeur par classification des courbures moyennes et gaussiennes

■ P. BOULANGER

Le processus de segmentation consiste à grouper des pixels selon des caractéristiques communes. Ces regroupements pourront, par la suite, être symbolisés et interprétés par un niveau cognitif supérieur.

Afin de faciliter le processus d'interprétation des niveaux supérieurs, les critères de qualité de cette segmentation sont l'invariance du point de vue de l'observateur, la robustesse au bruit et la description à niveaux de résolution multiples.

Pour répondre à ces critères, nous développons une technique de segmentation d'images de profondeur qui utilise des invariants de surfaces telle que la courbure moyenne (H) et la courbure gaussienne (K) comme classificateur. La technique consiste à classer en huit types de surfaces les différentes régions de la carte de profondeur selon les signes de la courbure gaussienne et moyenne.

Plusieurs problèmes sont reliés au calcul de ces courbures, le plus important étant celui de la sensibilité au bruit. Afin de résoudre ce problème, nous avons développé une technique de régularisation basée sur la méthode de relaxation d'étiquettes. Elle consiste à ne valider une étiquette que si ses voisins immédiats optimisent un certain critère de consistance locale. On peut voir à la figure 3a la carte d'étiquettes produite par une évaluation initiale aux moindres carrés d'une image de profondeur d'objets et à la figure 3b–d la même carte d'étiquettes après optimisation successive de la consistance.

Segmentation d'images 3D utilisant comme classificateur la transformée de Fourier

■ P. BOULANGER – M. CUNG[1]

Nous avons déjà démontré qu'il était possible de segmenter des régions planaires grâce à une technique de segmentation qui consiste à coder une image de profondeur avec une fonction sinusoïdale et à détecter ces régions planaires comme des pics dans l'espace de Fourier (1). Afin d'accélérer les temps de calcul et le degré d'automatisme de ces travaux préliminaires, une version de cet algorithme fut implémentée sur un processeur vectoriel mini-map de CSPI de 7 M flops. Le temps de segmentation typique a ainsi été accéléré par un facteur 15 ce qui signifie que l'on peut obtenir l'ensemble des régions planaires d'une image de profondeur en 5 s. Le système a aussi été modifié de façon à être entièrement automatique, c'est-à-dire que

[1]Étudiant.

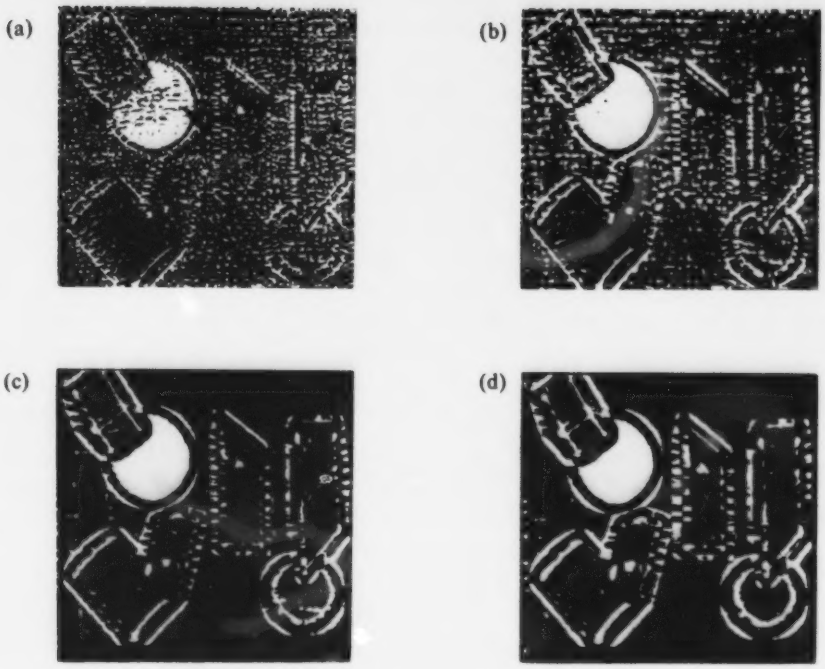


Figure 3 Relaxation de la carte d'étiquette en fonction du nombre d'itérations. (a) 0 itération, (b) 1 itération, (c) 5 itérations, (d) 10 itérations.

l'on fourni une image de profondeur et que celui-ci nous produit une représentation symbolique des régions planaires de l'image.

Nous avons aussi généralisé la technique de segmentation par transformée de Fourier pour des surfaces plus complexes telle que la famille des quadriques (cylindres, sphères, etc.). La méthode consiste à transformer ces surfaces quadriques en régions planaires et par la suite détecter celles-ci par la méthode de la transformée de Fourier. Le codage de sphères et de cylindres en ondes planaires qui produira dans le spectre de Fourier des pics à partir desquels nous pouvons calculer l'orientation et le rayon de courbure de ces surfaces.

Référence

1. Rioux, M., Boulanger, P., et Kasvand, T. Segmentation of range images using sine wave coding and Fourier transformation. Appl. Opt. 26(2): 287–293; 1987. NRC 27510.

Interface entre le système CAO/FAO Unigraphic et la caméra 3D

■ B. LAMB[1] – P. BOULANGER

Un interface entre la caméra 3D et le système CAO/FAO Unigraphic de McDonald Douglas a été développée. Le logiciel réduit les données de profondeur provenant de la caméra 3D grâce à une reconstruction de cette surface par un modèle de splines bidimensionnelles où les noeuds sont alloués d'une façon optimale. Ce modèle est par la suite inséré dans la base de données d'Unigraphic grâce aux fonctions UFUNC. Des expériences d'utilisation de ces données tels que l'usinage et le traitement par éléments finis sont en cours de développement à l'Université du Nouveau-Brunswick.

[1]Travailleur invité.

Intégration de données anthropométriques

■ N. SHEWCHENKO[1] – S. FILOSO[1] – P. BOULANGER

La production automatique de formes anthropométriques standards nécessite d'être capable d'intégrer des images de profondeur provenant d'un grand échantillon de population et, par la suite, de produire une forme qui correspond à la moyenne de cette population. Des expériences préliminaires sur ce problème ont démontré que cette intégration est possible. Nous avons étudié entre autre l'utilisation de splines sphériques pour modéliser des visages humains ainsi qu'une méthode semi-automatique d'alignement des structures faciales.

Algorithmes de mise en correspondance d'images de profondeur 3D

■ N.N. ABDELMALEK

Une technique globale efficace de mise en correspondance d'images de profondeur tridimensionnelles a été mise au point. Les paramètres invariants utilisés à des fins de mise en correspondance sont des fonctions des coordonnées centroïdes de l'image, de son volume, de la superficie de sa base, des moments centraux de deuxième ordre et des écarts-types relatifs à la surface de l'image et au périmètre de la base de l'image. Une méthode simple est utilisée pour limiter la mise en correspondance aux images modèles de même type de surface (convexe ou concave). Un ensemble distinct de paramètres invariants est calculé et mis en mémoire dans la bibliothèque de mise en correspondance pour chaque position stable de chaque image analysée. Le système de mise en correspondance a été expérimenté sur plusieurs images, y compris des images simulées, avec et sans bruit ajouté, et il s'est révélé rapide et robuste.

Approche statistique à la mise en correspondance d'objets à partir de données 3D

■ N.N. ABDELMALEK

Un algorithme de mise en correspondance d'images de profondeur tridimensionnelles, basé sur une méthode statistique, a aussi été évalué expérimentalement. Vingt-deux paramètres invariants ont été calculés, et les dix paramètres de mise en correspondance les plus appropriés ont été choisis suivant un critère simple. Quatre techniques de classification pour fins de mise en correspondance ont été évaluées, et une technique hybride a été retenue. Cette technique s'est aussi révélée robuste et rapide.

Programme interactif sur écran de visualisation IIS pour un système adaptatif de mise en correspondance d'images de profondeur 3D

■ N.N. ABDELMALEK – R. KADAMANI[2]

Un programme interactif sur écran de visualisation IIS pour un système adaptatif de mise en correspondance d'images de profondeur 3D a été rédigé. Le programme est basé sur un algorithme qui a été élaboré récemment, et le programme interactif fait intervenir le système de visualisation IIS. L'utilisateur peut facilement modifier le programme interactif ou le système adaptatif. D'autres sous-programmes peuvent être ajoutés au système, et les programmes existants peuvent facilement être court-circuités.

Programme de résolution des systèmes linéaires mal définis découlant de la représentation discrète de l'équation du premier genre mettant en jeu l'intégrale de Fredholm

■ N.N. ABDELMALEK

L'équation du premier genre mettant en jeu l'intégrale de Fredholm se retrouve dans les problèmes de restitution des images floues. Un programme informatique a été rédigé en Fortran IV pour obtenir des solutions approchées aux systèmes mal définis d'équations linéaires découlant de la représentation discrète de l'équation du premier genre mettant en jeu l'intrégrale de Fredholm. Il fait appel à un nouvel algorithme qui est numériquement stable (1). Les résultats numériques de ce programme sont aussi exacts que ceux de la méthode de décomposition des valeurs singulières tronquées, mais le nouveau programme est d'une à cinq fois plus rapide.

[1]Biokinetics and Associates Ltd., Ottawa (Ontario).
[2]Étudiant.

Référence

1. Abdelmalek, N.N. An algorithm for the solution of ill-posed linear systems arising from the discretization of Fredholm integral equation of the first kind. J. Math. Anal. Appl. 97: 95–111; 1983. NRC 22923.

■ Composants photoniques pour traitement des données et capteurs

■ J. CHROSTOWSKI – S. BOOTHROYD – P. MAIGNÉ – M. O'SULLIVAN

La photonique est la technologie de la production et de l'utilisation de la lumière dans des systèmes de détection, de diagnostic, de communication et de traitement de l'information. Cette technologie comprend la production, la transmission, la déflexion, l'amplification, la détection et l'enregistrement de la lumière, et s'applique aux lasers et aux autres sources lumineuses, aux fibres optiques, aux instruments électro-optiques et aux composants et instruments optiques. Les systèmes photoniques offrent d'immenses avantages et possibilités dans une variété de systèmes qui sont couramment fondés sur des signaux électriques.

Les travaux actuels de la Section photonique et capteurs n'explorent qu'une petite partie de ce vaste domaine. La recherche actuelle porte sur plusieurs composants destinés à des systèmes de vision à laser, pour lesquels des éléments de traitement des données entièrement optiques ou électro-optiques seront mis au point dans le futur. La même technologie de la photonique peut être appliquée autant à la détection qu'au traitement des données; par conséquent, une part de nos efforts est consacrée à la mise au point de capteurs.

Les principaux travaux effectués en 1987–1988 ont consisté à mettre au point les composantes de la nouvelle caméra tridimensionnelle sécuritaire pour l'oeil et des sondes photoniques pour mesurer des champs électriques (en collaboration avec la Section d'énergie de la DGE et le Département de génie électrique — Institut de recherche sur les télécommunications de l'Ontario — de l'Université d'Ottawa), et à faire de la recherche exploratoire sur des modulateurs spatiaux de lumière optiques pour le traitement entièrement optique des images.

Traitement optique et commutation optique

■ J. CHROSTOWSKI – M. O'SULLIVAN – S. BOOTHROYD

Les modulateurs spatiaux de lumière bidimensionnels sont les éléments clés des systèmes optiques de calcul et de traitement des données. On met au point de tels modulateurs qui seront utilisés comme dispositifs entrée–sortie, processeurs, mémoires ou toutes combinaisons de ces fonctions. Dans le contexte de la vision robotique, le but principal est de fabriquer de tels dispositifs qui soient capables d'assumer en parallèle diverses fonctions telles que le seuillage, l'addition et la soustraction d'images, le rehaussement, la corrélation et la convolution des arêtes, et des opérations logiques binaires, toutes ces opérations étant difficiles et longues à réaliser sur ordinateur électronique. Ces modulateurs devraient idéalement être adressables optiquement et posséder des produits espace largeur de bande élevés destinés à des calculs optiques, à des réseaux neuroniques optiques ou à des interconnexions optiques dynamiques dans des ordinateurs. Toutefois, pour des applications moins exigeantes (comme la vision robotique), on peut utiliser des modulateurs hybrides à adressage électronique, par exemple des dispositifs à cristaux liquides.

Dans ce contexte, une méthode optique de segmentation des images de profondeur tridimensionnelles est à l'étude. Une image de profondeur codée sinusoïdalement est projetée sur un écran de télévision à cristaux liquides qui module dans l'espace l'intensité d'un faisceau laser He–Ne. Des plans dans l'image de profondeur codée produisent des zones d'intensité localisées dans le spectre de Fourier qui est obtenu au moyen d'une lentille. Une deuxième lentille permet de reconstruire l'image. Ainsi, une image tridimensionnelle peut être segmentée en ses plans constituants par reconstruction sélective des caractéristiques dans le plan de Fourier. La figure 4 donne les résultats obtenus jusqu'ici, y compris l'image de profondeur codée sinusoïdalement après reconstruction, son spectre de Fourier et la reconstruction sélective de plusieurs plans suivant différentes positions d'ouvertures dans le plan de Fourier.

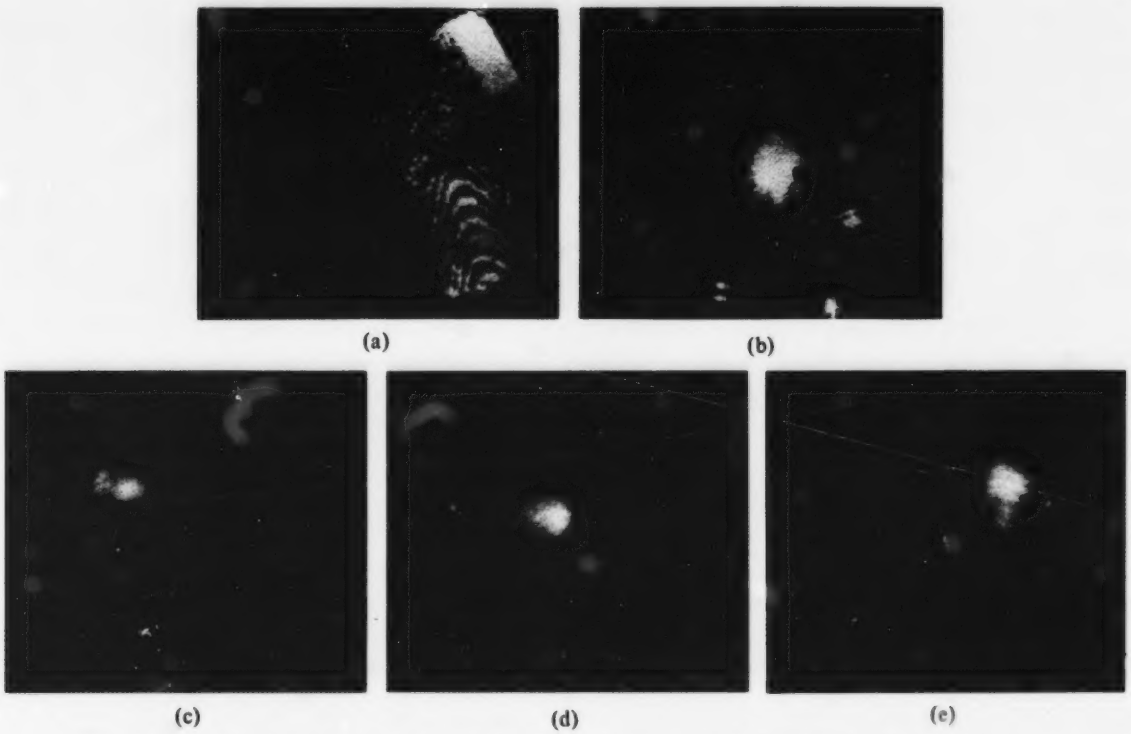


Figure 4 (a) Reconstruction d'une image de profondeur codée sinusoïdalement dont le spectre de Fourier est indiqué en (b). La segmentation des objets en plans constituants, telle qu'illustrée en (c), (d) et (e), est réalisée par reconstruction sélective des composantes du spectre de Fourier.

Ce traitement donne les positions relatives et les angles entre les plans, tels qu'observés dans l'image de profondeur, produisant ainsi une information compacte sur les objets contenus dans l'image qui est indépendante du facteur d'échelle et de la rotation et qui peut être utilisée dans le processus de la reconnaissance. On examine une technique permettant d'analyser en temps réel le spectre de Fourier et l'image segmentée.

Un des processus les plus intéressants en matière de commutation parallèle entièrement optique est la conjugaison de phase (CP), processus optique non linéaire qui produit des ondes optiques en combinant deux ou trois autres faisceaux à l'intérieur d'un cristal. L'intérêt manifesté pour ce processus s'est développé récemment parce qu'une des caractéristiques de l'onde conjuguée de phase est son aptitude à éliminer les aberrations produites par un système optique (figure 5). Cette caractéristique est particulièrement importante pour la propagation des faisceaux lasers de grande puissance dans l'atmosphère et pour les essais non destructifs des matériaux.

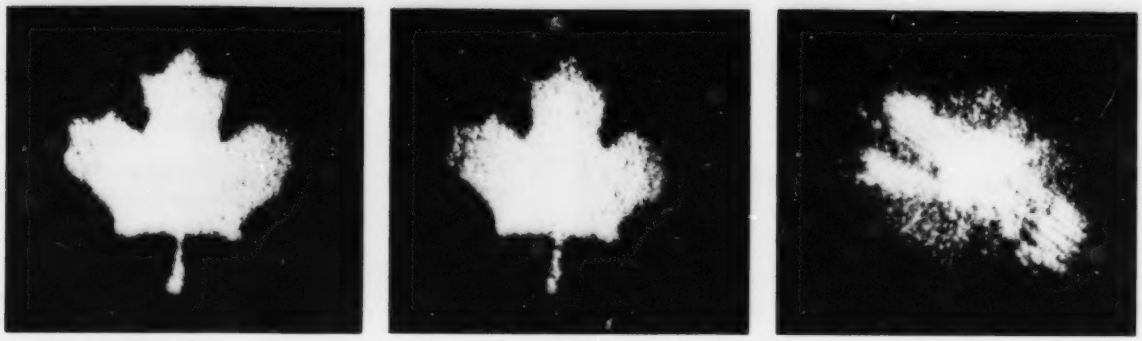
L'an dernier, nos efforts ont surtout porté sur le choix du cristal le plus approprié. Plusieurs possibilités d'utilisation ont été évaluées pour la reconnaissance d'images dans des systèmes de vision tridimensionnelle. La figure 6 illustre une soustraction d'image en temps réel au moyen de la conjugaison de phase dans le rubis.

Guides d'ondes optiques non linéaires

■ J. Chrostowski – S. Chelkowski[1] – M. Fontaine[2] – A. Rawicz[3]

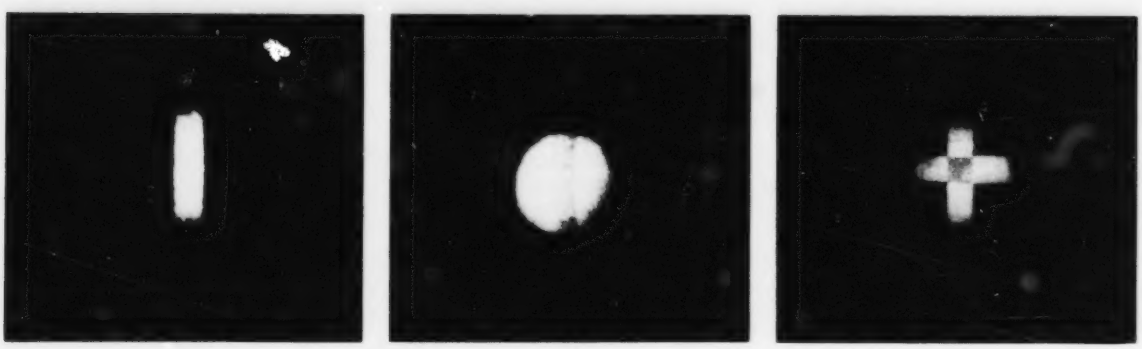
Les interactions non linéaires dans les guides d'ondes plans ou de type canal offrent une autre possibilité de traitement des signaux optiques en temps réel. En confinant la lumière dans des guides de dimensions

[1]Adjoint temporaire jusqu'à mars 1987.
[2]Travailleur invité.
[3]Andrew Engineering Inc., Vancouver (Colombie-Britannique).



(a) (b) (c)

Figure 5 Un élément de déformation de phase est invisible lorsque vu devant un miroir à conjugaison de phase. (a) Image conjuguée; (b) image conjugaison vue à travers un élément de déformation de phase; (c) image de la feuille d'érable réfléchie par un miroir ordinaire et à travers l'élément de déformation utilisé en (b).



(a) (b) (c)

Figure 6 Un interféromètre de Michelson avec deux miroirs à conjugaison de phase est utilisé pour soustraire des images. (a) Image d'un des bras de l'interféromètre; (b) l'image en (a) soustraite du faisceau dans l'autre bras; (c) la soustraction est réalisée là où les deux images se chevauchent.

transversales comparable à la longueur d'onde de la lumière, on obtient une puissance volumique maximale et des effets non linéaires intenses. En outre, ces champs intenses peuvent être entretenus sur de longues distances de propagation (plusieurs centimètres dans le cas de guides d'ondes en couches minces ou en canal, et plusieurs mètres ou kilomètres dans le cadre des fibres optiques). Par conséquent, il est possible d'obtenir des interactions efficaces nécessitant des champs intenses et de longues distances avec correspondance de phase au moyen de puissances totales moyennes ou faibles.

L'analyse numérique des guides d'ondes non linéaires réalisés dans du GaAs et de l'InP a été effectuée. La distribution du champ électrique à l'intérieur du guide d'ondes cannelé réalisé dans du GaAs, où le substrat présente une non linéarité dite de Kerr, a été analysée. De très faibles variations d'intensité de la lumière (de l'ordre du milliwatt) peuvent produire des changements dans la constante de propagation, de sorte qu'il est possible de commuter efficacement la lumière de l'état marche à l'état arrêt ou d'un canal à

l'autre. Des simulations sur ordinateur indiquent qu'un tel coupleur non linéaire peut permettre de réaliser des réseaux bidimensionnels dans des systèmes neuroniques entièrement optiques.

Un autre projet comprend des travaux préliminaires sur un nouveau matériau très prometteur, le cristal KTP (en collaboration avec Andrew Engineering Inc., MacDonald Dettwiler and Associates Ltd. et l'Université Simon Fraser), qui pourrait être utilisé dans la production de deuxièmes harmoniques d'ondes guidées. On espère que ce cristal permettra de concevoir de façon efficace une source laser à lumière bleue pompée par diode laser, instrument très important pour les applications d'écriture directe par laser telles que les mémoires optiques et l'impression par laser.

Sonde photonique de détection des champs électriques et des pressions élevées

■ J. CHROSTOWSKI – R. GAUTHIER – G. HARTSGROVE[1] – W. BOCK[1]

Les travaux se sont poursuivis (*Bulletin* (vol. 3, nº 1)) sur la mise au point d'éléments d'appareils au niobate de lithium destinés à détecter des transitoires de champs électriques tels que ceux produits par la foudre. Une partie de cette technologie est transférée à la Division d'avionique de la Compagnie Marconi Canada et au Département de génie électrique de l'Université d'Ottawa. Une nouvelle technique de fabrication de guides d'ondes dans du niobate de lithium par échange de protons à partir des acides pyrophosphorique et benzoïque, technique qui a été mise à l'essai récemment, a été utilisée pour produire un polariseur sur un substrat. Les résultats ont été présentés lors de la conférence SPIE à San Diego (Californie).

Une liaison par fibre optique sur 150 MHz a été établie comme détecteur de champ électrique avec commutation à distance de l'alimentation en énergie pour la Section d'énergie.

Dans le projet de collaboration avec l'Université du Québec à Hull sur la mise au point du capteur de haute pression (1000 atmosphères), on a construit le premier prototype d'un passe-fibre vers la chambre de haute pression et on a commencé les essais sur les composantes du capteur.

Fonctionnement sans risque pour l'oeil de la caméra à laser 3D

■ P. MAIGNÉ – M. O'SULLIVAN – R. GAUTHIER – J. CHROSTOWSKI

Toute augmentation de la vitesse d'acquisition des images dans les systèmes à laser nécessite inévitablement une augmentation de la puissance du laser. Le problème est particulièrement important pour les lasers utilisés en usine, où la protection des yeux est essentielle. La solution de ce problème, vitesse/puissance du laser, réside dans le déplacement de la longueur d'onde de fonctionnement du laser vers la région sans risque pour l'oeil de 1,5 μm. Cette plage de longueur d'onde correspond également à la plage de perte minimale des fibres optiques et permet d'utiliser divers éléments mis au point en télécommunications. Toutefois, il est actuellement impossible de se procurer dans le commerce des lasers et des détecteurs optiques de position utilisables pour la vision tridimensionnelle. Des travaux ont donc été entrepris pour mettre au point de tels composants optiques permettant l'utilisation de la caméra à laser tridimensionnelle dans la plage spectrale de 1,5 μm. Ces efforts comportent deux volets : la mise au point d'un photodétecteur à effet latéral rapide et la mise au point d'un laser à fibre de grande puissance. Le prototype d'un tel laser sera réalisé à partir d'échantillons de fibres fournis par AT&T Bell Laboratories.

En ce qui concerne le premier nos travaux ont porté essentiellement sur la conception de la structure du photodétecteur en essayant de minimiser les courants parasites. Cette contrainte est dictée par une puissance optique incidente très faible. La structure retenue minimise également le temps de réponse et permet l'acquisition de l'information à taux vidéo.

Les matériaux composant le photodétecteur sont des matériaux semi-conducteurs, phosphure d'indium (InP) et arsenure de gallium et d'indium (InGaAs). Des négociations sont en cours avec une compagnie canadienne pour la fabrication.

Le principe de ce photodétecteur est basé sur l'effet photolatéral. Le faisceau lumineux incident crée dans la région absorbante des paires électron–trou qui sont déplacées hors de cette zone par le champs

[1]Travailleur invité.

électrique. Ce déplacement transversal des charges crée une variation locale de la barrière de potentiel, ce qui donne lieu à un déplacement latéral des charges. L'intensité des courants collectés est proportionnelle à la position incidente du rayon lumineux sur le photodétecteur.

Les propriétés physiques d'une structure équivalente, provenant de la compagnie Epitaxx Inc., ont été analysées par différentes techniques de caractérisation (diffraction des rayons X, mesures capacité-tension, etc.).

Afin de tester les performances de la structure deux expériences ont été mises en place : la première consiste à mesurer la sensibilité du photodétecteur, la seconde à vérifier la linéarité de la réponse (courants mesurés) en fonction de la position incidente du faisceau. Ces deux expériences sont pilotées par ordinateur. La mesure des courants parasites et les caractéristiques courant-tension des échantillons seront aussi mesurées. Certaines de ces mesures sont rendues possibles grâce à la collaboration du Laboratoire des sciences de la microstructure de la Division de physique.

L'installation lithographique à laser (*Bulletin* (vol. 2, nº 6)) a été modifiée pour permettre de mesurer les courants induits par des faisceaux lumineux en balayant les détecteurs.

Investigation des propriétés de structure des super-réseaux

■ P. MAIGNÉ

La conception de photodétecteur fait intervenir de plus en plus les super-réseaux qui sont des empilements de couches extrêmement minces de matériaux semi-conducteurs. Ces nouvelles structures permettent, d'une part, un contrôle très précis sur les longueurs d'absorption et présentent, d'autre part, des sensibilités extrêmement fortes. Ces propriétés sont très sensibles à l'épaisseur et à la composition des matériaux. Nous avons, en collaboration avec la Section de physique chimique du Laboratoire des sciences de la microstructure, entrepris d'examiner les propriétés des super-réseaux InGaAs/GaAs par diffraction des rayons X.

Installation de polissage de matériaux exotiques

■ A. DUFOUR – J. CHROSTOWSKI

Cette installation, qui existe depuis deux ans, renferme du matériel de polissage «Logitech», souple et de très grande qualité, qui permet le polissage de cristaux, de barres lasers et de fibres de différentes textures et formes. Elle est située dans une salle munie d'une hotte d'évacuation qui est nécessaire notamment pour la préparation de pastilles semi-conductrices minces et ultraminces. Les principales applications sont les dispositifs en optique intégrées et les dispositifs à fibres optiques. Voici des exemples de travaux qui sont effectués : polissage de cristaux de niobate de lithium pour La Compagnie Marconi Canada et l'Université d'Ottawa, élaboration d'une méthode de polissage de cristaux de tellure de cadmium pour la Section de physique chimique de la Division de physique, polissage de cristaux de Si/Ge et de GaAs pour la Section d'épitaxie de faisceaux moléculaires de la Division de physique et élaboration d'une méthode de polissage des cristaux de germanate de bismuth pour l'Université du Québec à Hull.

MÉMOIRES RÉCENTS — SECTION PHOTONIQUE ET CAPTEURS

Publiés

- ☐ ABDELMALEK, N.N. A computer vision system for matching 3-D range data objects. CNRC/ERB-995, septembre 1987. 98 pages. CNRC 28053.
- ☐ BERALDIN, J.-A. Détecteurs optiques à l'état solide pour la vision tridimensionnelle. Compte rendu de Symposium: L'optoélectronique, Ste-Foy (Qué.). 26–27 mai 1987. pp. 113–147. (Invité.) CNRC 27960.
- ☐ BERALDIN, J.A., BLAIS, F., RIOUX, M., ET DOMEY, J. Signal processing requirements for a video rate laser range finder based upon the synchronized scanner approach. Proceedings of SPIE, Optics, Illumination and Image Sensing for Machine Vision II, Cambridge (MA). Novembre 1987. Vol. 750, pp. 189–198. CNRC 28113.

- ☐ Blais, F. Control of low inertia galvanometers for high precision laser scanning systems. Opt. Eng. 27(2): 104–110, 1988. CNRC 28513.
- ☐ Blais, F. High precision control of galvanometer scanner. SPIE's 31st Symposium on Optical and Optoelectronic Science and Engineering, San Diego (CA). 16–21 août 1987. Vol. 817, pp. 8–16. CNRC 28048.
- ☐ Blais, F., et Rioux, M. Real-time data acquisition algorithms and implementation for 3-D vision. SPIE's 31st Symposium on Optical and Optoelectronic Science and Engineering, San Diego (CA). août 16–21 1987. Vol. 829, 72–79; 1987. CNRC 28049.
- ☐ Blais, F., Rioux, M., et Domey, J. Three-dimensional cameras for robotic applications and inspection. Defence Research Establishment Pacific/Royal Roads Military College Robotic Applications Workshop, Victoria (C.-B.). 11–14 août 1987. p. 8. CNRC 28050.
- ☐ Boulanger, P., et Rioux, M. Segmentation of planar and quadric surfaces. SPIE Conference, Advances in Intelligent Robotics Systems, Boston (MA). 1er–6 novembre 1987.
- ☐ Chelkowski, S., et Chrostowski, J. Scaling rules for waveguides with nonlinear substrate. Appl. Opt. 26(17): 3681–3686; 1987. CNRC 27907.
- ☐ Chrostowski, J., et Chelkowski, S. Analysis of an optical rib waveguide with a nonlinear substrate. Opt. Lett. 12(7): 528–530; 1987. CNRC 27958.
- ☐ Domey, J., et Burtnyk, N. 3D vision for robotics and automation. Compte rendu du Congrès du centenaire du génie canadien, Montréal (Qué.). 18–21 mai 1987. pp. 8.3.1–8.3.13. CNRC 27959.
- ☐ Gauthier, R.C., Paton, B.E., Chrostowski, J., Fontaine, M., et Cada, M. Integrated optic variable polarizer. Proceedings of Integrated Optical Circuit Engineering V, San Diego (CA). 17–20 août 1987. SPIE Vol. 835, Mémoire nº 835-07. CNRC 27974.
- ☐ Kadamani, R., et Abdelmalek, N.N. An interactive program on the IIS display for an adaptive system for matching 3-D range data objects. CNRC/ERB-1010, décembre 1987. 58 pages. CNRC 28564.
- ☐ Kasvand, T., Oka, R., Dhome, M., et Rioux, M. Object detection and recognition from 3D camera images. Microcomput. Appl. 5(2): 55–58; 1986. CNRC 29129.
- ☐ Legendre, J.P. An optical fibre sensor of the concentration of urea solutions. CNRC/ERB-1007, août 1987. 7 pages. CNRC 28272.
- ☐ Rioux, M., Bechthold, G., Taylor, D., et Duggan, M. Design of a large depth of view three-dimensional camera for robot vision. Opt. Eng. 26(12): 1245–1250; 1987. CNRC 29130.
- ☐ Shi, J., Monchaud, S., Prat, R., et Domey, J. 3D object localization and automatic tracking. Proceedings of the 7th International Conference on Robot Vision and Sensory Controls, Zurich, Suisse. 2–4 février 1988. pp. 197–207. CNRC 28747.

Présentés

- ☐ Blais, F. Réalisation pratique de caméra de vision de formes tridimensionnelles. 55e Congrès de l'Association canadienne française pour l'avancement des sciences (ACFAS), Ottawa (Ont.). 19–22 mai 1987.
- ☐ Boulanger, P. Les circuits neuroniques et leurs applications. Séminaire d'intelligence artificielle, École Polytechnique, Montréal (Qué.). 20 octobre 1987.
- ☐ Boulanger, P. La vision stéréo. École Polytechnique, Montréal (Qué.). 25 novembre 1987.
- ☐ Boulanger, P. Neural networks and their applications. Université McGill, Montréal (Qué.). 26 novembre 1987.
- ☐ Boulanger, P., et Hunter, D. Report on IEEE First Annual International Conference on Neural Networks. CNRC/DGE Association de la Science, Ottawa (Ont.). 22 juillet 1987.
- ☐ Boulanger, P., et Hunter, D. Neural network for the Space Station project. Spar Aerospace Limited, Toronto (Ont.). 27 juillet 1987.
- ☐ Chrostowski, J. Guided-wave optical devices. Département de génie électrique, Université d'Ottawa, Ottawa (Ont.). 26 novembre 1987.
- ☐ Domey, J. Les capteurs de vision 3-D et leurs applications. 55e Congrès de l'Association canadienne française pour l'avancement des sciences (ACFAS), Ottawa (Ont.). 18–22 mai 1987.

- ☐ DOMEY, J. Capteurs de vision 3D. Laboratoire d'application des techniques électroniques avancées, Institut national des sciences appliquées, Rennes, France. 17 septembre 1987.
- ☐ DOMEY, J. Vision tridimensionnelle. Institut de recherche en informatique et systèmes aléatoires, Rennes, France. 30 octobre 1987.
- ☐ DOMEY, J. 3-D vision at NRC. Electronics Engineering Department, University of Hull, Hull, Angleterre. 3 novembre 1987.
- ☐ DOMEY, J. 3-D vision sensors. Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, Stuttgart, Allemagne. 7 décembre 1987.
- ☐ FONTAINE, M., ET CHROSTOWSKI, J. Calcul de constantes de propagation pour un guide d'onde planaire à cinq couches avec indices de réfraction réels et imaginaires. 55e Congrès de l'Assocation canadienne française pour l'avancement des sciences (ACFAS), Ottawa (Ont.). 18–22 mai 1987.

Brevet

- ☐ BOUCHARD, C., ET BOULANGER, P. Particle detector. Brevet É.-U. 4,680,468, 14 juillet 1987.

SECTION DE ROBOTIQUE ET AUTOMATISATION

Chef de section — M.A. Barakat

■ Introduction

La Section de robotique et automatisation du Laboratoire des systèmes intelligents est une nouvelle section créée il y a moins de deux ans. Elle fait partie de l'Institut canadien de technologie industrielle à Winnipeg au Manitoba.

La Section poursuit des travaux de recherche intéressant directement l'industrie, en collaboration avec des partenaires du secteur privé et des universités. Ces recherches portent surtout sur les secteurs suivants :

- robotique : travaux de recherche et de développement appliqués portant sur des systèmes robotiques de pointe capables de s'adapter aux incertitudes de leur milieu de travail
- automatisation industrielle : travaux de recherche et de développement appliqués sur la production et les essais assistés par ordinateur
- systèmes à base de connaissances : développement de systèmes à base de connaissances dans les domaines qui intéressent nos partenaires industriels

Ces travaux de recherche portent sur des secteurs industriels comme, par exemple, la fabrication, le traitement, l'automatisation des services de santé et l'exploitation des ressources. Les projets de la Section feront appel au savoir-faire des experts du Laboratoire des systèmes intelligents, d'autres Laboratoires de la Division de génie électrique et d'autres Divisions du CNRC.

■ Robotique

Système expert de programmation hors-ligne pour robot peintre

■ P. Orban – G. Sawatsky

Grâce aux cellules de peinture robotisées, les humains ne sont plus astreints à des tâches fastidieuses — peut-être même dangereuses — et on est assuré d'un travail de qualité uniforme. Parmi les défis auxquels fait face le concepteur d'un tel système, et éventuellement l'utilisateur, on compte la création de programmes efficaces pour le robot. Le programme du robot qui actionne l'ajutage de vaporisation doit faire preuve du même savoir-faire qu'un peintre humain : connaissance de la nature de la surface à peindre, connaissance de la peinture et des caractéristiques du pistolet et des méthodes de peinture adaptées aux surfaces irrégulières comme, par exemple, les coins, les rebords, etc.

La méthode habituelle de programmation d'une cellule de peinture robotisée consiste à «apprendre» au robot la procédure de peinture par l'émulation d'un peintre humain. Cette méthode compte toutefois des désavantages, parmi lesquels un mauvais rendement financier pour les travaux à faible volume. La voie à explorer pour la production et la vérification du robot peintre est la programmation hors-ligne.

Vadeko International Inc. et la Section de robotique et automatisation travaillent conjointement à un projet visant l'automatisation de la programmation du robot peintre. Le projet vise l'établissement du cadre d'un système de programmation d'une cellule de peinture robotisée assistée par ordinateur. La figure 1 montre le schéma fonctionnel du système expert de programmation hors-ligne pour robot peintre (SEP).

Le système expert de programmation hors-ligne est conçu sous forme d'une série de modules qui partagent la même base de données. Certains des modules se trouvent déjà au moins partiellement sur le marché, tandis que d'autres nécessiteront des travaux considérables de recherche et développement. Au cours de la première phase du projet, nous nous concentrerons sur les deux modules clés, la planificateur de trajectoire et le simulateur du dépôt de peinture. Nous étudierons aussi la question de l'intégration de ces deux modules à un progiciel existant de simulation de CAO/robotique.

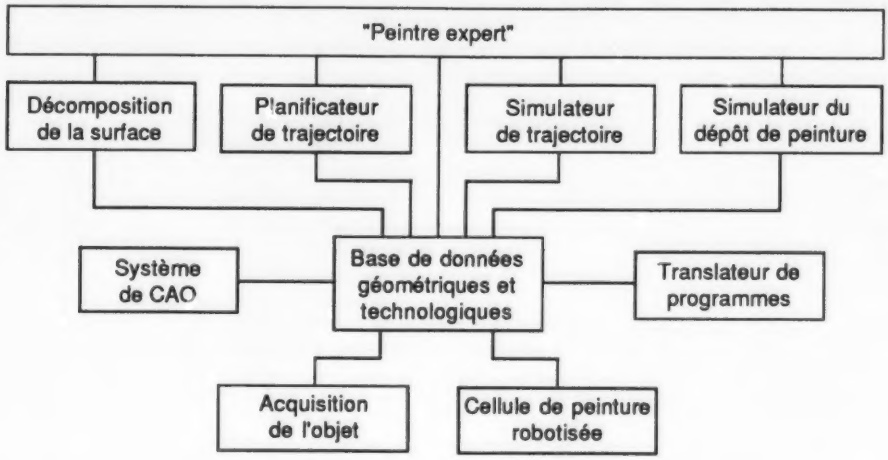


Figure 1 Un système expert de programmation hors-ligne pour robot peintre.

Soudage robotisé assisté par la vision tridimensionelle

■ P. CHARTIER

Le projet de recherche sur le soudage en est à sa phase initiale. En ce moment, c'est principalement sa planification qui retenu notre attention. L'Institut canadien de technologie industrielle s'est procuré les équipements propres à procéder à l'expérimentation et cet équipement est maintenant fonctionnel. Le personnel affecté au projet a été à même de se familiariser avec le soudage proprement-dit et entamera bientôt la phase expérimentale. Celle-ci comprend entre autre l'utilisation de la vision 3D pour le soudage multi-passes ainsi que l'élaboration d'un système amélioré de programmation de robots asservis à des capteurs.

Dans ce domaine, les solutions existantes sont encore assez empiriques, les résultats peu convainquants. Le projet vise, à long terme à l'élaboration d'une cellule de production aussi autonome que possible. La description d'une tâche sera alors faite selon les divers aspects pertinents à l'ouvrage désiré et les détails de la programmation seront alors pris en charge par le système lui-même.

Pour en arriver là, nous aurons aussi à nous préoccuper du problème dans son ensemble, y compris des aspects tenant plus de la métallurgie que du contrôle, le but final étant un système auto-adaptatif.

■ Automatisation industrielle

Système automatisé de pointe pour l'inspection des surfaces

■ S.F. EL-HAKIM

Ce projet vise le développement d'un système de traitement de pointe pour l'inspection des surfaces. Ce système doit détecter automatiquement les défauts sur une image de la surface d'un objet, identifier le type de chaque défaut, lui assigner un degré de gravité, puis accepter ou rejeter l'objet. La demande est très forte pour un tel système automatisé parmi les utilisateurs des systèmes manuels d'inspection des surfaces disponibles sur le marché.

On a développé deux routines. Une routine d'«apprentissage» permet à l'opérateur de choisir un défaut potentiel sur une surface échantillon en répondant simplement par oui ou par non pour chaque élément détecté. Par après, toute structure semblable sur une autre surface sera automatiquement détectée par une deuxième routine, la routine de «recherche» (voir la figure 2).

Ce système pourrait être appliqué dans les secteurs de la recherche des défauts du métal en feuille comme, par exemple, les bosses et déformations, les taches sur les surfaces en plastique, les irrégularités du

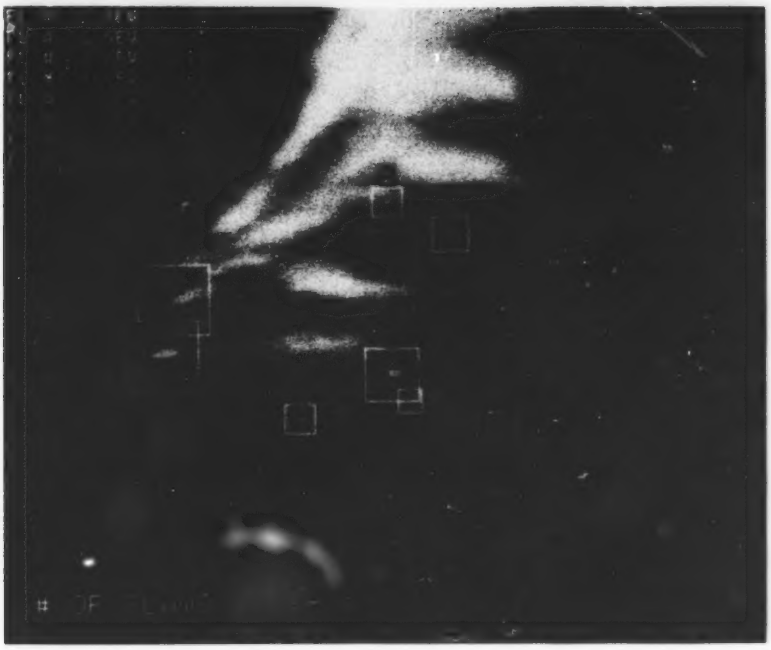


Figure 2 Détection automatique des défauts de surface.

fini de la peinture et les imperfections du verre. Ce système pourrait assurer l'inspection des imperfections de toute autre surface réflective ou qu'on peut rendre réflective.

Vision stéréoscopique passive

■ S.F. EL-HAKIM

Cette approche de la vision tridimensionnelle passe par le recours à au moins deux capteurs et est fondée sur la disparité stéréoscopique, comme dans le cas de la vision humaine. La figure 3 montre le schéma fonctionnel du système. Cette méthode se caractérise par la rapidité inhérente de l'enregistrement des données sur le champ entier de l'objet (le balayage est inutile), comporte un système simple pour l'acquisition des données (sans composants mécaniques) et fait preuve d'une grande exactitude pour des objets de dimensions allant de quelques millimètres à des centaines de mètres. Cette technique convient fort bien aussi lorsqu'il est impossible d'utiliser un éclairage actif ou lorsque les points à mesurer sont des caractéristiques ou des emplacements (cibles) spécifiques sur l'objet.

Jusqu'à tout récemment, le principal problème en vision stéréoscopique était l'établissement des correspondances. Toutefois, on a accompli des progrès substantiels au cours des dernières années et les seuls cas qui posent encore des problèmes sont ceux qui en posent aussi à la vision humaine. L'observation multiple, plutôt que l'approche pseudo-humaine par deux caméras, permet d'améliorer l'établissement des correspondances, bien que la profondeur de champ limitée des caméras reste encore un des problèmes de cette méthode.

L'exactitude réalisable avec une résolution de 256 pixels × 256 pixels est d'environ 0,05 pixel, c'est-à-dire 1/5000 (0,1 mm sur un objet de 0,5 m de longueur ou de largeur). Toutefois, on prévoit obtenir une bien meilleure exactitude, environ 1/20000, avec une résolution de 256 pixels × 256 pixels par le recours à des lentilles de grande qualité et à la modélisation élaborée des erreurs des caméras.

Cette technologie trouvera des applications surtout dans les secteurs de la mesure de précision de

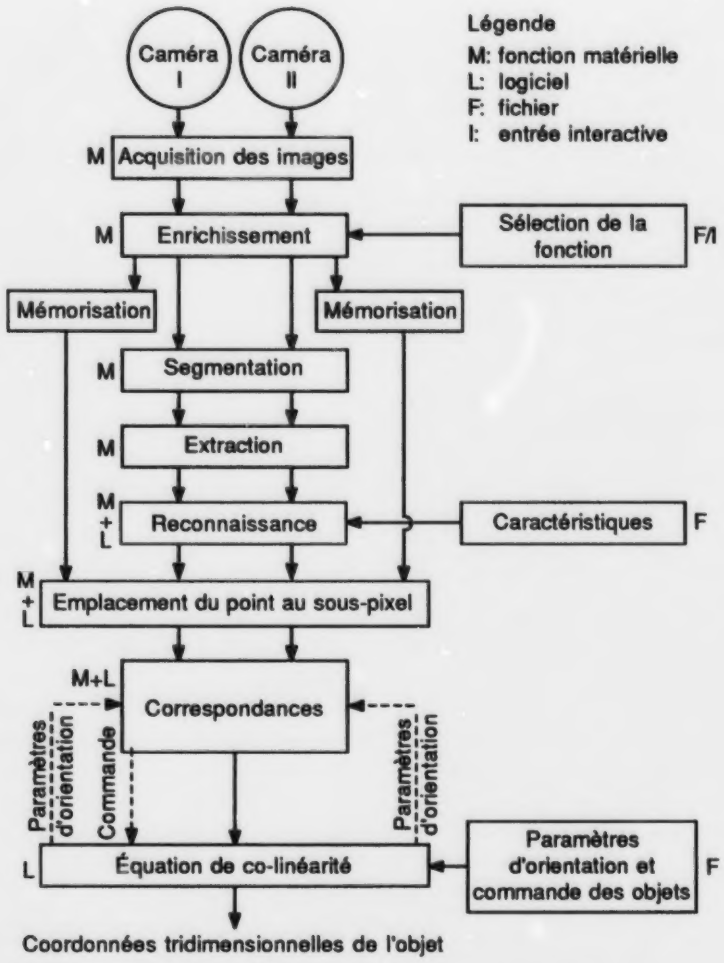


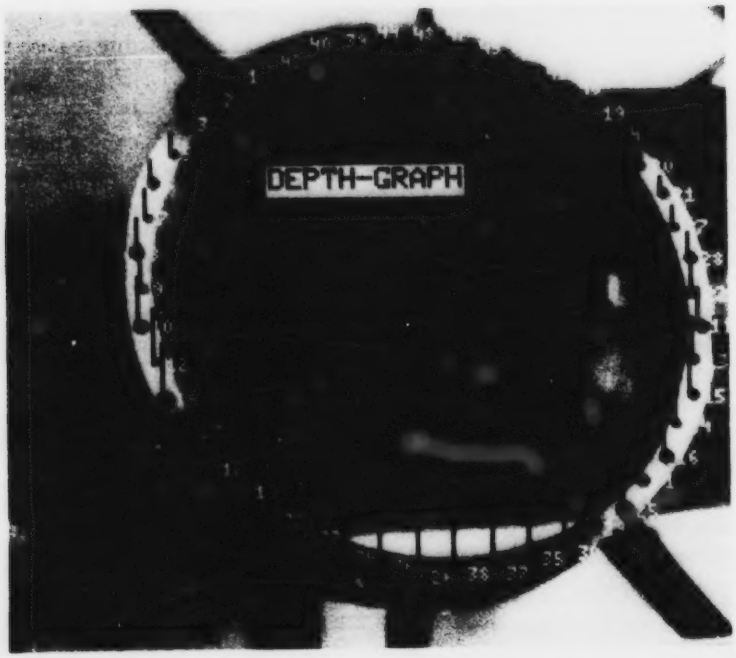
Figure 3 Schéma fonctionnel du système de vision stéréoscopique.

points spécifiques sur des objets en contrôle de la qualité (voir la figure 4), de la mesure des objets en mouvement ou à variation rapide, ainsi que des applications médicales, spatiales et militaires. La Section de robotique et automatisation utilise ce système de vision dans le cadre de deux projets. Le premier porte sur le développement d'un système automatisé perfectionné de traitement pour l'inspection des surfaces. Ce système doit détecter automatiquement les défauts de surface de l'objet, identifier le type de chaque défaut, lui assigner un degré de sévérité, puis accepter ou refuser l'objet. Dans le second projet, le système de vision est incorporé au système d'inspection dimensionnelle intégré à la machine qui est compatible avec la CAO et qui pourrait réaliser les travaux d'inspection à chaque stade critique du processus de fabrication.

Automatisation des élévateurs à grains

■ G. NEILSON

Au cours des dernières années, un certain nombre d'entreprises du secteur céréalier ont entrepris l'automatisation des opérations des élévateurs à grains ruraux. De grandes compagnies ont développé des



1	34.58	245.31	-99.66
2	19.65	229.14	-92.37
3	1.79	215.13	-87.89
4	283.06	210.99	-98.06
5	-8.27	195.80	-79.21
6	-21.20	178.23	-72.26
7	-25.62	157.22	-64.12
8	-33.03	136.35	-56.27
9	-31.53	115.17	-47.07
10	-33.15	93.19	-39.89
11	318.51	87.68	-52.76
12	-25.82	72.65	-31.48
13	311.28	66.69	-44.95
14	-21.49	51.38	-23.55
15	306.63	45.56	-36.47
16	283.58	8.07	-21.61
17	1.55	13.11	-11.22
18	19.29	-1.18	-5.19
19	265.61	225.50	-101.74
20	293.22	191.27	-90.61
21	306.29	173.05	-83.08
22	317.11	108.92	-61.12
23	-8.68	33.31	-16.95
24	293.35	27.82	-29.37
25	250.24	-22.05	-8.76
26	118.83	-52.39	8.16
27	311.09	151.15	-76.45
28	318.77	130.92	-69.09
29	229.56	-31.11	-4.16
30	210.30	-43.02	-0.10
31	265.58	-5.51	-15.07
32	34.27	-18.14	-0.26
33	54.36	-28.36	2.91
34	74.37	-40.52	6.26
35	187.40	-46.53	3.76
36	97.06	-45.62	7.04
37	165.57	-53.51	6.97
38	142.13	-52.13	7.44
39	97.89	270.04	-110.94
40	74.59	266.66	-109.40
41	210.34	264.17	-113.72
42	55.61	254.62	-103.66
43	229.43	252.00	-110.94
44	119.51	276.48	-114.93
45	187.54	268.65	-115.87
46	250.35	242.03	-106.68
47	165.47	275.63	-116.08
48	143.22	275.07	-114.41

Figure 4 Mesure des coordonnées tridimensionnelles au moyen du système de vision stéréoscopique.

systèmes qui réalisent plusieurs des tâches nécessaires de comptabilité et de tenue d'inventaire à partir d'ordinateurs conventionnels.

Malheureusement, ces ordinateurs ne sont pas bien adaptés à l'environnement de travail des élévateurs à grains. Parmi les conditions environnementales typiques, on compte l'instabilité de l'alimentation électrique, d'importantes variations de température et d'humidité, des niveaux élevés de particules contaminantes en suspension dans l'air, et l'action destructrice de certains animaux (les souris, les rats). Qui plus est, ces machines imposent un bon nombre de contraintes techniques qui réduisent leur efficacité. Elles ont été developpées au début de la technologie des réseaux de grande couverture, alors qu'existaient très peu de standards ou d'outils pour bases de données, qui auraient facilité le développement et l'entretien des applications appropriées. Qui plus est, les progrès de la technologie des capteurs et de la méthodologie des opérations permettent d'accroître le degré d'automatisation de chaque élévateur, en vue de l'objectif final, la standardisation et l'efficacité du traitement des céréales dans tout le pays.

Les objectifs spécifiques du projet sont l'identification d'un système informatique cible qui convienne aux contraintes économiques et environnementales des élévateurs à grains ruraux, l'adaptation à ce système cible d'une application existante de gestion d'élévateurs à grains, l'identification, la conception et l'incorporation de capteurs et de méthodes qui accroîtront la fonctionnalité, ainsi que l'adaptation du conditionnement physique du système cible aux conditions environnementales spécifiques. Nos partenaires industriels pour ce projet sont Digital Equipment of Canada Ltd. et The Pioneer Grain Company, Limited.

Étude de faisabilité d'un appareil robotisé de mesure des coordonnées

■ G. The – P. Orban – G. Neilson – B. Van den Berg[1]

Le contrôle et l'amélioration de la qualité des produits sont des exigences constantes dans un atelier automatisé. En général, on utilise pour ce faire des machines de mesure hors-ligne des cordonnées (MMC).

[1]Division de génie mécanique, Conseil national de recherches du Canada.

Les machines de mesure des coordonnées assurent l'exactitude et la souplesse nécessaires, mais elles sont coûteuses et longues à installer.

On peut aussi améliorer le contrôle de la qualité en vérifiant l'exactitude des pièces pendant l'usinage. Le matériel nécessaire pour atteindre cet objectif serait une machine de mesure des coordonnées autonome, en version accessoire à la machine, peu coûteuse et exacte.

Le Conseil national de recherches a collaboré avec un partenaire industriel sur un projet visant l'évaluation de la faisabilité d'implantation d'un système qui utilise un robot industriel commercial à titre de MMC. On utilise pour ce projet un robot à 5 axes de ASEA (IRB L6/2) avec sonde de contact Renishaw PH1 montée à l'extrémité de l'organe terminal. Le robot est relié à un système informatique central à ordinateur VAX. Une série de fonctions ont été conçues et implantées pour la manipulation et la commande du robot. Les fonctions de la machine de mesure des coordonnées comme le calcul de point, de ligne, de plan, de cercle et de sphère ont été conçues et implantées sur l'ordinateur VAX. Les fonctions logicielles ont été implantées avec la collaboration du Centre de technologie en production industrielle de la Division de génie mécanique du CNRC. À partir des fonctions disponibles, un utilisateur peut construire un programme d'application MMC pour mesurer une grande variété d'objets.

À l'heure actuelle, on effectue avec notre MCC des mesures dont on évaluera l'exactitude.

Développement d'un système industriel à véhicule télécommandé automatisé

■ P. Orban – G. Sawatsky

Le secteur industriel se tourne de plus en plus vers les systèmes à véhicule télécommandé automatisé (VTA) pour les travaux de manipulation des matériaux. Pour répondre à ce besoin, les entreprises de VTA améliorent constamment leurs produits de manière à rester concurrentielles et mettre à la disposition de l'industrie des solutions flexibles, efficaces et sécuritaires pour la manipulation des matériaux. Ce projet, auquel participe FMC of Canada Ltd., porte sur la recherche de méthodes pour améliorer la performance et les services assurés par les systèmes à VTA.

On envisage des améliorations dans les secteurs suivant : la concept de base du contrôleur du système, l'accroissement de l'«intelligence» locale du véhicule grâce à de puissants ordinateurs et capteurs de bord ainsi que l'amélioration des systèmes de communication et de guidage de ce véhicule. De plus, puisqu'un système à VTA est souvent considéré comme un système technique élaboré et non comme un élément courant, on pourrait encore améliorer la méthodologie de conception des systèmes VTA de manière à en réduire les coûts de développement.

Génie logiciel assisté par ordinateur

■ S.F.J. Wilk

Ce projet vise le développement d'un environnement automatisé pour le génie logiciel, orienté vers le développement d'applications industrielles et scientifiques et fondé sur la méthodologie de conception ABL/SOS/J-Maps développée à l'Université Concordia de Montréal puis mise en pratique par SYSLOG Inc. Ce projet porte plus particulièrement sur la ré-implantation et l'amélioration du prototype du système de GLAO pour accroître sa flexibilité, sa fonctionnalité et sa portabilité.

Au cours de l'automne 1987, nous avons acquis du logiciel et du matériel et avons défini les tâches composant le projet. Ces tâches comprennent l'extraction du code source du système actuel et sa conversion en langage C, la modélisation au moyen du prototype du système de GLAO de composantes système choisies, le développement et l'élaboration du prototype de l'interface, le transfert du système aux environnements de développement cibles (MS-DOS, OS/2, Macintosh, UNIX, XENIX, VMS), l'incorporation de fonctions d'exploitation réseau et multitâche, l'intégration des fonctions d'un dictionnaire de données, le développement et l'intégration de fonctions de mise en forme au niveau du système, l'amélioration des

fonctions d'analyse et de vérification, l'intégration de fonctions d'extraction de composantes et la modélisation des codes de sources existants, ainsi que le développement d'une interface avec les systèmes de GLAO complémentaires choisis comme, par exemple, KnowledgeWare, Excelerator, etc.

Systèmes de planification assistée par ordinateur

■ C.J. Wu – H. Liontas – J. Allston – P.W.U. Graefe[1]

La plupart des systèmes de planification assistée par ordinateur présentement sur le marché sont conçus pour des ateliers de fabrication en lots ou pour les installations équivalentes. Ce type de système comprend un programme de planification, quelques programmes de production de rapports, et un programme de simulation (par exemple le système FAM développé par ICAM Technologies en collaboration avec la Division de génie mécanique du CNRC). Il existe de nombreuses installations de fabrication de moyenne envergure comme, par exemple, les fabricants de biens non durables et les lamineries d'acier, qui nécessitent des systèmes de planification spécialisés. Ce projet vise à développer des systèmes de planification pour ces secteurs de fabrication spécifiques et à introduire dans l'installation les principes de fabrication assistée par ordinateur.

Dans le cas des lamineries d'acier, le problème de planification consiste à trouver la séquence optimale avec la contrainte de la plus courte durée de configuration possible pour une seule machine. La durée de configuration dépend de la configuration antérieure et de l'outil utilisé. On ajoute constamment de nouveaux outils à l'installation et de nouveaux produits sont constamment développés, de sorte que la séquence optimale peut varier avec le temps. Un programme général d'optimisation basé sur l'algorithme du commis-voyageur est en cours de développement.

Le problème de planification pour les fabricants de biens non durables couvre en général de une à trois machines qui alimentent de nombreuses machines dont le facteur d'utilisation est de 100 %. En raison de la nature dynamique de cette industrie, de la courte durée de production, de la grande variété des produits, des variations constantes de l'environnement, etc., les données utilisées aux fins de la planification changent quotidiennement. Le programme de planification à développer comprendra un système complet de données d'entrée, un programme de planification/chargement et un programme de rapports de gestion. Le chargement s'effectue automatiquement après l'approbation par l'utilisateur.

■ Systèmes à base de connaissances

Système de détection des thromboembolies pour les opérations non urgentes de la hanche

■ N. Pizzi

Ce projet porte sur le développement d'un système d'intelligence artificielle capable d'analyser les dossiers médicaux des patients qui subissent le remplacement complet d'une articulation de manière à produire des généralisations médicales quant aux probabilités de thromboembolie postchirurgicale.

Plusieurs inférences médicales sont des généralisations empiriques résultant de facteurs statistiquement communs aux dossiers des patients qui ont subi des traitements de ce type. Ces généralisations sont fondées sur l'analyse statistique de données médicales quantitatives. Par ailleurs, les données médicales qualitatives ne suffisent habituellement pas à une analyse statistique rigoureuse. Toutefois, ce type de données est souvent indispensable pour en arriver à un diagnostic correct.

Ce système traitera ces données qualitatives par des techniques d'intelligence artificielle inductives de manière à produire des généralisations médicales que les médecins pourront utiliser ultérieurement pour diagnostiquer les maladies subséquentes des patients.

[1]Division de génie mécanique, Conseil national de recherches du Canada.

Système expert de détection des troubles de saignement liés aux amigdalectomies/adénoïdectomies

■ N. Pizzi

Ce projet prévoit le développement d'un système expert qui déterminera la probabilité qu'un patient qui doit subir une amigdalectomie ou une adénoïdectomie souffre de troubles de saignement.

Les amigdalectomies et les adénoïdectomies sont très dangereuses pour un patient qui souffre de troubles de saignement non détectés (par exemple l'hémophilie). Ces patients nécessitent souvent d'autres opérations chirurgicales pour corriger des problèmes qu'un diagnostic correct aurait permis d'éviter. Il existe des tests médicaux qui permettent de déterminer si un patient souffre d'un problème de coagulation, mais ils sont trop coûteux pour être appliqués à chaque patient qui doit subir une amigdalectomie ou une adénoïdectomie.

Dans le système actuel, le patient remplit un questionnaire qui est ensuite évalué par le médecin ou par le chirurgien. Un patient qui répond positivement à un groupe de questions clés est envoyé au laboratoire de coagulation pour y subir les tests appropriés avant l'opération.

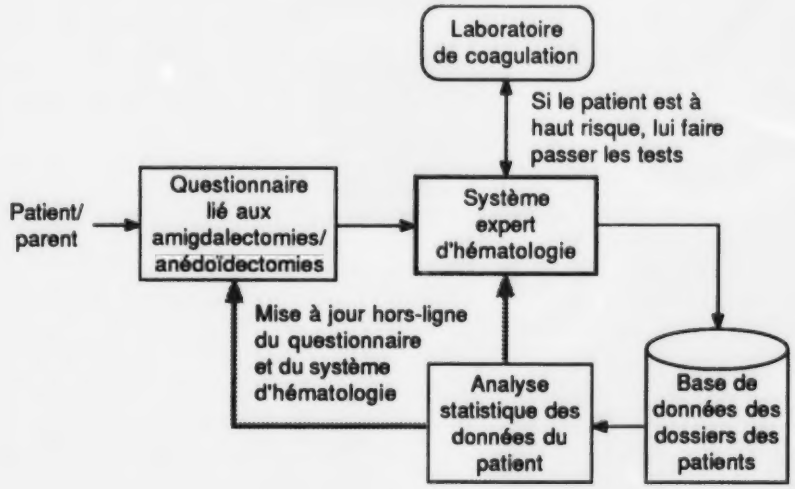


Figure 5 Structure du système expert d'hématologie.

Le système projeté effectuera un certain nombre de tâches. Tout d'abord, le questionnaire sera automatisé, ce qui éliminera les erreurs, les contradictions et les omissions, une faiblesse du système original. Ensuite, les résultats du questionnaire seront introduits dans un système expert qui déterminera le niveau de risque du patient. Finalement, on maintiendra une base de données des dossiers des patients pour améliorer les fonctions de prise de décision du système expert (figure 5).

Système de gestion des traitements en oncologie

■ N. Pizzi

On a terminé l'évaluation de la faisabilité théorique d'un système expert qui produira des plans de traitement pour patients atteints de cancer, d'après une série de protocoles oncologiques.

Le système actuel compte un programme dans le cadre duquel certains patients en oncologie sont assignés à une cellule d'étude de manière à étudier l'efficacité sur divers types de cancers de traitements par radiations et par chimiothérapie. Ces patients sont choisis grâce à des critères d'admissibilité très élaborés (y compris la randomisation statistique) et sont ensuite traités en vertu d'un plan appelé protocole. Les protocoles sont prescriptifs et descriptifs : ils décrivent un plan de traitement spécifique à un seul type de cancer et ils servent à produire de nouveaux plans de traitement améliorés pour les futurs patients. Il existe

des centaines de protocoles distincts et les critères d'admissibilité ainsi que le traitement varient énormément d'un plan à l'autre.

Le système projeté comporte deux étapes majeures. Tout d'abord, le développement d'un système expert qui structurera le plan de traitement d'un patient en un format qui simplifie la tâche actuellement ardue de gestion de ce plan par un centre médical éloigné. Le système expert produira ensuite le plan de traitement approprié d'après les critères d'admissibilité décrits dans les divers protocoles pour évaluer la pertinence d'un protocole de traitement oncologique spécifique dans le cas d'un patient potentiel.

Système expert à logique fonctionnelle des prédicats

■ N. Pizzi

Ce projet vise le développement d'un système expert qui utilise des preuves naturelles pour déterminer la validité des arguments dans le calcul de prédicats.

Il existe à l'heure actuelle des méthodes (comme la résolution) qui constituent une procédure de décision efficace pour déterminer la validité des arguments par le calcul des prédicats, les arguments étant ramenés à leur forme conjonctive normale. Toutefois, ces procédures de décision comportent quelques limites théoriques (par exemple, le traitement des quantificateurs universels par fonction de Skolem, pour lequel les domaines sont indénombrables ou infinis).

Le système projeté incorporera l'expertise d'un logicien pour déterminer la validité de tout argument en calcul des prédicats. Les preuves naturelles à utiliser seront une série d'applications des règles d'inférence naturelles qu'un logicien utiliserait normalement (dilemme constructif, absorption, modus tollens, preuve indirecte, etc.).

Développement d'un système expert pour les fabricants de biens de consommation

■ G. Sawatsky

Le développement de systèmes de planification est un secteur de recherches très vaste, qui donne lieu au développement de nombreux produits. Toutefois, les fabricants canadiens de vêtements n'utilisent pas couramment les systèmes informatiques pour leurs travaux de planification. On donne comme motifs de cette situation la nature saisonnière de l'industrie, le facteur de la mode, l'interaction dynamique avec le client, les délais d'approvisionnement du fournisseur et la difficulté de maintenir des données exactes. Une partie de l'industrie croit donc qu'un système expert de planification (SEP) spécialisé est nécessaire pour refléter les connaissances particulières relatives à la résolution des problèmes récurrents de planification et pour donner des conseils à l'utilisateur quant aux options possibles.

Un partennaire de l'ICTI, Strategic Innovations Inc., une société de développement de logiciels qui travaille avec les fabricants canadiens de biens de consommation, veut développer un système expert de planification sous forme d'un produit commercial destiné à l'industrie du vêtement. En 1987/88, un prototype sommaire a été développé pour tester la faisabilité d'un SEP et pour susciter les réactions des utilisateurs potentiels. Ce prototype a été développé en ART (outil de raisonnement automatisé). On a choisi l'ART afin que le développement du prototype s'effectue aussi rapidement que possible et de manière à éviter à ce stade les limites d'un système moins coûteux. À l'heure actuelle, l'expérience acquise grâce au développement du prototype et les réactions des utilisateurs industriels potentiels sont en cours d'évaluation en vue de la phase suivante du projet, qui comprend l'incorporation de fonctions au prototype dans un environnement matériel/logiciel commercialisable. De plus, on améliorera le prototype pour tester les caractéristiques les plus perfectionnées du SEP. Les fonctions éprouvées feront partie de la version commerciale.

MÉMOIRES RÉCENTS — SECTION DE ROBOTIQUE ET AUTOMATISATION

Publiés

- ☐ ALLSTON, J.L., ET STANTON, R.G. Exact coverings of triples with specified longest block length. J. Aust. Math. Soc., Ser. A, 42: 409–420; 1987.
- ☐ O'HARA, D.H., ELGAZZAR, S., ET THE, G. ALTER-Harmony: control of a PUMA robot from the Chorus multiprocessor. CNRC/ERB-1002, décembre 1987. 34 pages. CNRC 28492.

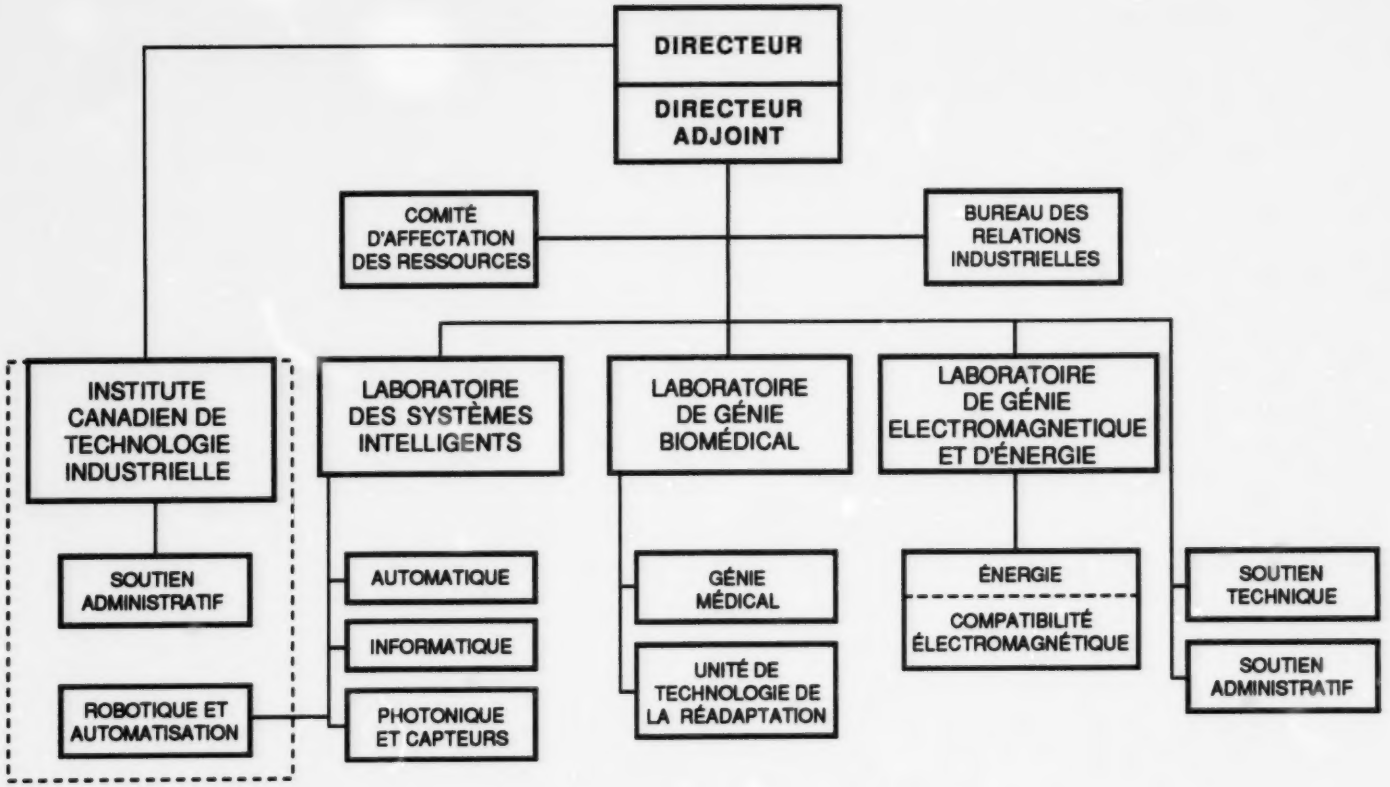


Figure A1 Organigramme de la Division de génie électrique.

ANNEXE B

Personnel de la Division de génie électrique du 1er avril 1987 au 31 mars 1988

Directeur – S.A. Mayman

Directeur adjoint – M.M.C. Collins

Secrétaire du directeur – A.C. Dunn

Ingénieur de recherches principal – J.Y. Wong

BUREAU DES RELATIONS INDUSTRIELLES

Hlady, A.M.
Arnold, J.G.
Birnbaum, K.
Neal, G.
O'Hara, D.H.
Scrimgeour, J.H.C.

ADMINISTRATION ET SERVICES

■ Bureau administratif

Fox, M.M.
Crupi, F.
Houle, C.
Kenny, S.
Lambert, C.
Manson, M.E.

■ Bureau des approvisionnements et des magasins

Weston, G.H.
Lajeunesse, M.
Lamont, J.D.
Moodie, R.J.[1]
Osborn, L.
Purney, S.J.[2]
Taggart, S.J.
Wilson, D.G.D.

■ Bureau des publications

Kidd, E.M.
Tierney, T.A.

■ Atelier de développement

Milne, D.F.
Bouchard, S.
Bramall, B.K.
Dunlop, D.A.
Farr, B.C.
Franklin, W.[3]
Hendley, J.G.
Kritsch, R.A.
L'Abbé, P.C.
Legere, J.
Marchington, D.C.
Pollex, G.P.
Poulin, D.A.W.
Preece, N.
Reid, D.G.[4]
Taylor, A.R.
Tierney, K.G.

Travailleurs invités

Adamczyk, S.[5]
Landry, J.[6]
LeBlanc, G.[6]

[1]Donné sa démission au Conseil national de recherches du Canada en mars 1988.
[2]Deplacé à la Laboratoire de recherches de l'Atlantique, Conseil national de recherches du Canada, en avril 1987.
[3]Deplacé à l'Établissement aéronautique national, Conseil national de recherches du Canada, en janvier 1988.
[4]Retraité du Conseil national de recherches du Canada en octobre 1987.
[5]Colonel By Secondary School, Gloucester (Ontario).
[6]Pylon Electronic Development Company Limited, Nepean (Ontario).

■ **Section de dessin et de photographie**

Eamer, C.C.
Ablack, V.G.
Amirault, P.C.
Cameron, L.A.
Gamache, D.
Schoenherr, K.
Vallières, R.A.
Walker, G.D.

Étudiant
Clark, C.

■ **Annex de la DGE, ICIST**

Dyment, J.
Day, M.

LABORATOIRE DE GÉNIE BIOMÉDICAL

Chef de laboratoire — O.Z. Roy

■ **Section de génie médical**

Personnel scientifique
Roy, O.Z.
Black, R.C.
Crabtree, D.
Durie, N.D.
Forester, G.V.
Kadamani, E.
Korba, L.W.
Mortimer, A.J.
Nelson, P.J.
Pauls, J.L.[1]

Personnel technique
Farley, R.
LaFleur, C.
McSheffrey, L.
Park, G.C.
Saver, W.
Scott, J.
Skrypnyk, R.
Statham, A.
Trollope, B.J.
Villeneuve, E.J.

Agent de recherche visiteur
Foux, A.[2]

Travailleurs invités
Gilbert, S.[3]
Jinsheng, L.[4]
Lovas, M.A.[3]
Peterson, E.[3]
Wilson, J.[5]

Étudiants
Do, G.B.
Levitt, K.
Little, I.
Swartz, D.

■ **Unité de technologie de la réadaptation (Toronto)**

Personnel scientifique
Batelaan, J.
Bennett, W.G.
Clark, I.P.
Liu, A.J.

Personnel technique
Ayvazyan, H.
Kerr, S.A.
Tam, M.
Tremblay, R.

Étudiant
Swartz, R.

[1]Donné sa démission au Conseil national de recherches du Canada en juin 1987.
[2]Technion — Institut de technologie d'Israël, Haifa, Israël.
[3]Hôpital Civic d'Ottawa, Ottawa (Ontario).
[4]Centre de recherches en réadaptation du Chine, Beijing, Chine.
[5]Terray Manufacturing Inc., Arnprior (Ontario).

LABORATOIRE DE GÉNIE ÉLECTROMAGNÉTIQUE ET D'ÉNERGIE

Chef de laboratoire (par intérim) — M.M.C. Collins

■ Section de génie électromagnétique

Personnel scientifique

Balaberda, R.[1]
Campbell, J.B.[2]
Mishra, S.R.[3]
Shih, L.Y.[4]
Wyslouzil, W.[5]

Personnel technique

Allan, L.E.[3]

Travailleur invité

Macikunas, A.[6]

■ Section d'énergie

Personnel scientifique

Densley, R.J.
Antar, Y.M.M.[7]
Arseneau, R.J.
Bamji, S.S.
Brown, W.G.[8]
Bulinski, A.T.
Filipski, P.S.
Kashyap, S.
Kekez, M.M.
McComb, T.R.
Moore, W.J.M.
Podgorski, A.S.
So, E.

Personnel technique

Angelo, D.J.
Bennett, D.
Cassidy, B.R.
Cook, P.R.
Cossette, L.
Dagg, G.B.
Dunn, J.G.
Gibson, G.
Grünwald, A.
Hoffman, D.R.[9]
Robert, J.E.P.
Rocheleau, D.O.
Sabourin, L.
Williscroft, G.
Zelle, J.J.

Agent de recherche visiteur

Miljanic, P.N.[10]

Travailleur invité

Hendry, A.[11]

Étudiants

Au, C.
Davis, L.
Gravelle, L.
Plaziac, N.
Swatek, D.
Vu, C.

[1]Donné sa démission au Conseil national de recherches du Canada en avril 1987.
[2]Deplacé à l'Institut Herzberg d'astrophysique, Conseil national de recherches du Canada, en avril 1987.
[3]Donné sa démission au Conseil national de recherches du Canada en mars 1988.
[4]Deplacé à l'Institut de dynamique marine, Conseil national de recherches du Canada, en juillet 1987.
[5]Deplacé à l'Institut Herzberg d'astrophysique, Conseil national de recherches du Canada, en juin 1987.
[6]Université McMaster, Hamilton (Ontario).
[7]Donné sa démission au Conseil national de recherches du Canada en novembre 1987.
[8]Deplacé au Bureau du développement industriel, Conseil national de recherches du Canada, en septembre 1987.
[9]Deplacé à l'Institut Herzberg d'astrophysique, Conseil national de recherches du Canada, en octobre 1987.
[10]Université de Belgrade, Belgrade, Yougoslavie.
[11]Retraité du Conseil national de recherches du Canada en août 1986.

LABORATOIRE DES SYSTÈMES INTELLIGENTS

Chef de laboratoire — M.M.C. Collins

■ Section d'automatique

Personnel scientifique

Burtnyk, N.
Archibald, C.
Bechthold, G.H.
Elgazzar, S.
Evans, K.B.
Gentleman, W.M.
Green, D.A.
Hung, S.H.Y.
Liscano, R.
MacKay, S.A.
Merritt, C.

Personnel scientifique (suite)

O'Hara, D.H.
Parr, R.
Roth, G.
Shepertycki, T.H.
Stewart, D.A.
Wein, M.

Personnel technique

Binch, A.T.
Colwell, M.
Duggan, M.D.
Taylor, D.G.

Chercheur invité

Umeyama, S.[1]

Travailleurs invités

Amid, S.[2]
Kasvand, T.[3]

Étudiants

Henwood, S.
Kadamani, R.
Leblanc, F.
Tretheway, B.

■ Section de recherches en informatique

Personnel scientifique

Brahan, J.W.
Abu-Hakima, S.
Buck, L.J.
Davidson, P.L.
El-Zorkany, H.I.
Famili, A.
Farley, B.
Henneker, W.H.
Orchard, R.A.
Parent, A.
Phan, C.S.
Vernadat, F.B.[4]
Wylie, R.H.

Personnel technique

Booth, T.A.
Born, R.V.
Duford, C.
McEwan, L.J.E.
Orpana, F.P.
Shevel, R.

Travailleurs invités

Boulet, M.M.[5]
Cole, A.[6]
Pilkington, R.[6]
Rose, J.B.[7]

Étudiants

Gourde, C.
Jorgensen, J.
Leeder, M.

[1]Laboratoire électrotechnique, Tsukuba, Japon.
[2]Université McGill, Montréal (Québec).
[3]Expert-conseil, Ottawa (Ontario).
[4]Donné sa démission au Conseil national de recherches du Canada en janvier 1988.
[5]Université Laval, Québec, (Québec).
[6]University of Leeds, Leeds, Royaume-Uni.
[7]UNESCO, Paris, France.

■ Section photoniques et capteurs

Personnel scientifique

Domey, J.
Abdelmalek, N.N.
Blais, F.
Boulanger, P.B.
Chrostowski, J.
Gauthier, R.[1]
O'Sullivan, M.S.
Rioux, M.

Personnel technique

Alie, F.E.
Cournoyer, L.
Dufour, A.G.
Fournier, T.
Gariépy, P.
Misner, R.

Attaché de recherches

Beraldin, J.-A.
Maigné, P.P.

Bourse post-doctorale

Boothroyd, S.A.

Travailleurs invités

Baribeau, R.[2]
Bock, W.J.[3]
Fontaine, M.[3]
Hartsgrove, G.[4]
Lamb, B.[5]
Lemordant, J.[6]
Porada, E.[7]
Szyszkowicz, M.[8]

Étudiants

Cung, H.M.
Du Charme, P.
Rousseau, D.A.
Veilleux, M.

■ Section de robotique et automatisation (Winnipeg)

Personnel scientifique

Barakat, M.A.
Allston, J.
Chartier, P.
El-Hakim, S.
Liontas, H.
Neilson, G.B.
Orban, P.

Personnel scientifique (suite)

Pizzi, N.
Rao, D.[9]
Sawatzky, G.D.
The, H.G.
Wilk, S.F.
Wu, C.J.

Travailleurs invités

Chen, M.Y.[10]
Doan, T.B.[10]
Heruga, S.[10]
Kinsner, W.[10]
Kusiak, A.[10]
Leung, Y.M.[10]
Tong, D.[11]
Tse, C.L.[10]

[1]Donné sa démission au Conseil national de recherches du Canada en mars 1988.
[2]Servo-Robot Inc., Boucherville (Québec).
[3]Université du Québec à Hull, Hull (Québec).
[4]Université d'Ottawa, Ottawa (Ontario).
[5]Université de Nouveau-Brunswick, Fredericton (Nouveau-Brunswick).
[6]Université de Grenoble, Laboratoire Artemis, St. Martin d'Héres, France.
[7]Expert-conseil, Ottawa (Ontario).
[8]Présentement à l'Établissement aéronautique national, Conseil national de recherches du Canada.
[9]Donné se démission au Conseil national de recherches du Canada en février 1988.
[10]Université de Manitoba, Winnipeg (Manitoba).
[11]Integrated Engineering Software, Winnipeg (Manitoba).

L'INSTITUT CANADIEN DE TECHNOLOGIE INDUSTRIELLE

Directeur – S.A. Mayman

Directeur exécutif – W.C. McGregor

Chef des opérations – J.P. Reise

Adjointe administratif – N.A. Swanson

Agent de Marketing et Promotions des ventes – P.F. Kent

Adjoint au gestionnaire des opérations – K. Rawes

Secrétaire – D. Gareau

Réceptionist – A. Boily

Étudiant – H.W. Yee

Partenaires d'ICTI

Bristol Aerospace Limited
CAD Systems Inc.
Diffracto Ltd.
Digital Equipment of Canada Ltd.
Electronics Industry Association of Manitoba
FMC of Canada Limited
Gene Barbee & Associates Ltd.
ICAM Technologies Corporation
Industrial Applications of Microelectronics Centre Inc.
International Artificial Intelligence Corporation
Iris Systems Inc.
Manitoba Rolling Mills
Ministère des Communications
Monac Acoustic Monitoring International Inc.
Nygard International Ltd.
Programme d'aide à la recherche industrielle du CNRC
Quantic Laboratories Inc.
Red River Community College
Reflex Automated Systems and Control (Canada) Ltd.
Servo-Robot Inc.
Strategic Innovations, Inc.
Syslog Inc.
Ubitrex Corporation
Unisys Canada Inc.
University of Manitoba
University of Winnipeg
Vadeko International Inc.
Voisys Incorporated